

В. И. РИНСКИЙ

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 743

В. И. РИНСКИЙ

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1971

6Ф2.08
Р49
УДК 621.317.2

Ринский В. И.

Р 49 Измерительная лаборатория радиолюбителя., М., «Энергия», 1971.

168 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека Вып. 743)

Описывается построенный автором комплект несложных радиоизмерительных приборов, рассчитанных на изготовление и практическое использование их радиолюбителями. Приводятся подробные сведения о принципе действия, схемах и конструкциях предлагаемых приборов и даются рекомендации по методике их налаживания и эксплуатации. Основному содержанию предпослано краткое изложение основ радиоизмерительной техники и освещена роль измерений в радиолюбительской практике.

Книга предназначается для широкого круга радиолюбителей, а также может быть полезна руководителям радиокружков.

3-4-5
342-70 6Ф2.08

Ринский Владимир Исаакович

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

Редактор *Б. Н. Лозицкий*
Обложка художника *А. А. Иванова*
Технический редактор *Л. А. Пантелеева*
Корректор *Т. В. Воробьева*

●●●

Сдано в набор 16/II 1970 г. Подписано к печати 5/I 1971 г. Т-09740. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 8,82. Уч.-изд. л. 12,65. Тираж 70 000 экз. Цена 51 коп. Зак. № 1033.

●●●

Издательство «Энергия». Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

●●●

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография № 1 «Печатный Двор» им. А. М. Горького Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР, г. Ленинград, Гатчинская ул., 26.

ОГЛАВЛЕНИЕ

●●●

ПРЕДИСЛОВИЕ

В процессе изготовления, настройки и эксплуатации радиоаппаратуры значительное место занимают радиоизмерения. Нередко в любительских условиях, где обычно ведется разработка и изготовление радиоустройства в одном экземпляре, измерения играют даже относительно бо̀льшую роль, чем при серийном промышленном производстве. Поэтому радиолюбители, желающие добиться успехов в своей работе, должны уделять измерениям серьезное внимание.

Благодаря увеличению производства радиоизмерительной аппаратуры с каждым годом улучшается оснащенность радиоклубов, лабораторий, предприятий и учебных заведений радиоизмерительными приборами, пользоваться которыми имеют возможность, главным образом, наиболее квалифицированные радиолюбители. Эта часть любителей имеет достаточный (нередко профессиональный) опыт, позволяющий им грамотно эксплуатировать сложную измерительную аппаратуру и вследствие этого добиваться серьезных успехов в разработке приборов для народного хозяйства, радиоспорте и других отраслях радиолюбительской деятельности. Без измерений немыслимо конструирование таких сложных электроиных устройств, как телевизоры, любительские радиостаиции, электромузыкальные инструменты.

Многие радиолюбители самостоятельно создают измерительную аппаратуру и имеют значительные достижения в этой областн, о чем свидетельствуют высокие оценки, получаемые лучшими конструкциями измерительных приборов на регулярно проводимых Всесоюзных радиовыставках. Таким образом, для опытных, квалифицированных радиолюбителей применение, а в ряде случаев и изготовление измерительной аппаратуры является неотъемлемой частью их работы.

Гораздо меньшими возможностями в этом отношении располагают начинающие радиолюбители. Многие радиокружки и тем более отдельные любители недостаточно обеспечены измерительной аппаратурой Отсутствие радиоизмерительных приборов, а иногда н неумение ими пользоваться затрудняют работу и влекут за собой частые неудачи при налаживании конструкций. Приобретение измерительной аппаратуры и опыта работы с ней — процесс достаточно длительный, и поэтому осваивать радиоизмерительную технику необходимо уже на ранних этапах радиолюбительской деятельности. В противном случае отставаиие любителя в этой области неизбежно будет тормозить его дальнейшее совершенствование.

В радиолюбительской литературе описано значительное количество различных самодельных радиоизмерительных приборов. Однако большинство из них довольно сложны, а их опнсания рассчитаны на подготовленных читателей. Немаловажным фактором является и необходимость существенных материальных затрат на постройку приборов, особенно питающихся от электрической сети.

В настоящей книге в доступной форме рассмотрены теоретические основы радиоизмерений и нзложена методика их выполнения. Для осуществления этих измерений предлагаются разработанные и построенные автором несложные измерительные приборы, изготовление которых возможно как в радиокружках, так н силами отдельных раднолюбителей.

Кроме описания схем и конструктивного устройства приборов, достаточно подробно излагается методика их налаживания, градуи-

ровка и эксплуатация. В ряде случаев предлагается несколько методов градуировки, что облегчает практическую работу радиолюбителя в различных условиях.

Описываемые приборы имеют простые, надежные схемы и содержат небольшое количество доступных деталей и материалов. Большинство приборов построено на транзисторах, в некоторых применяются неоновые лампы. Благодаря полному отсутствию электронных ламп все приборы весьма экономичны и питаются от внутренних химических источников.

Применение транзисторов и малогабаритных низковольтных источников питания позволило существенно уменьшить габариты, вес и стоимость измерительных приборов. Дополнительным преимуществом низковольтного питания является безопасность налаживания, эксплуатации и других манипуляций с приборами, что особенно важно для начинающих радиолюбителей, не всегда уделяющих должное внимание соблюдению мер предосторожности при работе с радиоаппаратурой.

Количество органов управления приборами сведено к минимуму, что упрощает практическую работу с ними. Вместо дефицитных и легко повреждаемых при перегрузках микроамперметров в большинстве приборов используются более доступные и надежные в работе миллиамперметры в сочетании с транзисторными усилителями постоянного тока. Эта особенность приборов значительно облегчает их изготовление и практически исключает возможность вывода их из строя в процессе эксплуатации.

Конструктивное устройство приборов несложно и может быть выполнено при наличии минимума слесарных и радиомонтажных инструментов. Бóльшая часть приборов собрана в малогабаритных металлических или пластмассовых корпусах. Основными конструктивными материалами являются гетинакс и оргстекло. Во всех приборах применен навесной монтаж, позволяющий устанавливать в них детали различных габаритов и менее сложный по сравнению с печатным монтажом.

Для успешного изготовления и последующего использования радиоизмерительных приборов необходимы знание принципа их действия, понимание сущности происходящих в них процессов и умение правильно произвести настройку и градуировку приборов. Грамотная эксплуатация приборов возможна при наличии в каждом конкретном случае четкого представления о том, какие именно величины, какими методами и с помощью каких приборов подлежат измерению. Поэтому описанию практических конструкций предпосланы некоторые теоретические сведения и даны рекомендации по планированию и проведению измерений, а также обработке их результатов, включая оценку погрешностей.

Предлагаемые вниманию читателя описания измерительных приборов в сочетании с приводимыми теоретическими сведениями должны способствовать его ознакомлению с основами радиоизмерительной техники и оказать ему помощь в практической работе по созданию любительской лаборатории.

Более подробные сведения о радиоизмерениях и радиоизмерительных приборах могут быть почерпнуты читателем из рекомендуемой литературы.

● ● ●

Глава первая

РАДИОИЗМЕРЕНИЯ В ЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКЕ

1. Значение радиоизмерений

Радиолюбители-конструкторы обычно начинают свою деятельность с повторения описанных в литературе простых радиоустройств бытового назначения: усилителей и радиоприемников. На этом начальном этапе конструкторского пути радиолюбитель уделяет наибольшее внимание конкретной практической работе — механической обработке материалов, изготовлению моточных деталей и монтажу схемы. Располагая необходимым минимумом инструментов и деталей, радиолюбитель может начать и более или менее успешно завершить монтаж своего изделия. Однако работа на этом не заканчивается: построенный приемник или усилитель нуждается еще в налаживании и настройке. В большинстве случаев при первом опробовании обнаруживается, что конструкция работает не так, как это предполагалось, или даже вообще бездействует. Нередко это оказывается неожиданностью для неопытного конструктора, и он склонен полагать, что причина неудовлетворительной работы заключается лишь в недоброкачественной детали или случайной ошибке в монтаже.

При отсутствии измерительной аппаратуры поиски неисправности представляют собой трудоемкую, длительную, а иногда и безрезультатную работу. Между тем многие начинающие любители не располагают даже простейшими измерительными приборами. В таких условиях налаживание конструкции неминуемо сводится к попыткам улучшить ее работу путем подбора и замены деталей или частичного и даже полного перемонтажа схемы. Добиться хорошей работы таким методом чаще всего не удается, а достигаемый изредка случайный успех истолковывается как свидетельство необязательности измерений при налаживании радиоаппаратуры. Отсюда проистекает часто наблюдаемое несерьезное отношение к радиоизмерениям, как якобы второстепенному делу.

К сожалению, неверные представления о роли радиоизмерений довольно широко распространены среди начинающих радиолюбителей. В известной мере эти заблуждения объясняются переоценкой любителями реальных возможностей изготовляемых ими конструкций, описания которых приводятся в популярной литературе. Трудности, ожидающие любителя при вводе в действие самодельных конструкций, в этих описаниях обычно преуменьшаются, что порождает у любителя необоснованную уверенность в легкости достижения поставленной им цели.

Так, например, изготовление транзисторного приемника по испытанной схеме и подробному описанию представляется любителю сравнительно несложным на первый взгляд делом. Однако построенный в соответствии с описанием приемник далеко не всегда хорошо работает, что вызывает неудовлетворенность конструктора.

Это происходит потому, что, повторяя практически проверенную и положительно зарекомендовавшую себя схему, любители обычно подразумевают и желаемую повторяемость характеристик приемника от экземпляра к экземпляру. На самом же деле разброс отдельных параметров различных экземпляров приемника может оказаться очень большим.

Неидентичность полупроводниковых приборов, отклонения величин деталей от их номинальных значений, наличие полей рассеяния и паразитных связей между деталями приемника, суммируясь в различных сочетаниях, могут привести к неожиданно большим различиям в работе отдельных экземпляров приемника. В одних случаях чувствительность может оказаться недостаточной, а в других, наоборот, чрезмерной, что повлечет за собой неустойчивую работу и даже генерацию приемника. Отклонения от номинальных электрических режимов, особенно в выходном каскаде приемника, приводят к значительным искажениям воспроизводимого им звука.

Таким образом, за схемной простотой многих любительских конструкций скрываются значительные, а иногда и непреодолимые трудности при их налаживании без измерительных приборов.

Необходимость в измерениях возникает не только при изготовлении радиоприемников. В еще большей степени роль измерений проявляется при работе над более сложными устройствами: телевизорами, любительскими радиостанциями и др.

Радиолюбительская деятельность включает в себя различные виды практических работ, которые по мере возрастания их сложности могут быть представлены в следующем порядке: простейший ремонт промышленной радиоаппаратуры, повторение описанных в литературе конструкций, повторение конструкций со внесением в них изменений и усовершенствований, самостоятельное конструирование аппаратуры на основе известных схем, самостоятельное конструирование с применением вновь разрабатываемых схемных и конструктивных решений. Возможности творческого роста радиолюбителя и сроки, в течение которых он преодолевает промежуточные этапы на пути к самостоятельной конструкторской работе, во многом зависят от наличия в его распоряжении необходимых измерительных приборов и умения ими пользоваться. Естественно, что с возрастанием сложности выполняемых радиолюбителем работ и увеличением вносимой в них доли самостоятельного творчества соответственно повышается и роль измерений в процессе изготовления, настройки и доводки аппаратуры.

При разработке и изготовлении радиоприемной, телевизионной, спортивной и другой аппаратуры перед радиолюбителем возникают достаточно сложные технические задачи, решение которых требует различных измерений. Наличие измерительных приборов позволяет не только добиться работоспособности построенного радиоаппарата, но и получить лучшие результаты.

В радиолюбительской практике находят применение как промышленные, так и самодельные измерительные приборы. Для выполнения основных радиоизмерений необходимы приборы различного назначения: амперметры, вольтметры, омметры, испытатели ламп и транзисторов, измерительные генераторы и др. Такими приборами промышленного изготовления располагают лаборатории радиоклубов, предприятий и учебных заведений. Стоимость комплекта промышленных радиоизмерительных приборов высока, и приобретение их затруднительно. Поэтому радиокружки и отдельные любители используют преимущественно самодельные приборы. По своим техническим данным самодельные приборы уступают промышленным, однако, будучи тщательно налаженными и отградуированными, они вполне удовлетворяют требованиям любительской практики.

Несложные радиоизмерительные приборы могут быть построены радиолюбителем при сравнительно небольшой затрате времени и средств. При этом целесообразно изготовлять комплект приборов в такой последовательности, чтобы уже завершенные приборы использовались при постройке последующих. Самостоятельное изготовление приборов позволит радиолюбителю постепенно создать небольшую измерительную лабораторию. Имеющиеся в ней приборы, сочетаясь и взаимно дополняя друг друга, дадут возможность производить необходимые измерения при изготовлении, налаживании и эксплутации радиоаппаратуры.

2. Испытания и измерения

Радиоизмерения производятся при изготовлении, налаживании, проверке, ремонте и эксплуатации радиоаппаратуры. В процессе ремонта ранее действовавшей аппаратуры обычно исходят из наличных признаков неисправности, например искажений или отсутствия звука, прекращения приема на одном или нескольких диапазонах и т. п., и отыскивают причину неисправности, а затем устраняют ее. Иногда нарушение нормального течения физических процессов в радиоэлектронных устройствах сопровождается явлениями, доступными непосредственному наблюдению: перегревом деталей, чрезмерно ярким свечением ламп, искрением, запахом гари и т. д. В большинстве же случаев о процессах в схеме можно судить лишь косвенно, для чего прибегают к испытаниям ремонтируемого устройства. Нередко при этом для определения неисправности бывает достаточно ограничиться полученнем сведений о наличии или отсутствии определенного явления, например генерации, что может быть осуществлено простыми испытаниями, без применения измерительных приборов.

Например, проверить наличие напряжения на выходе выпрямителя приемника можно, присоединив к нему маломощную лампу накаливания, рассчитанную на соответствующее или несколько большее напряжение. При искажениях звука можно установить, в каком именно каскаде усилителя низкой частоты они возникают, прослушивая сигнал с помощью телефонов, подключаемых поочередно к различным точкам схемы. Удостовериться в наличии колебаний гетеродина приемника можно, прослушивая их на другом приемнике. Расстройка приемника может быть определена при сопоставлении отметок шкалы и положений ее стрелки во время приема известных радиостанций. Для определения неисправности радиоламп часто прибегают к последовательной замене их заведомо исправными до улучшения работы проверяемого радиоустройства, что позволяет судить о неисправности соответствующей лампы. Аналогичной проверке путем замены исправными могут подвергаться и другие детали: резисторы, конденсаторы, трансформаторы.

В рассмотренных примерах производилось скорее качественное, чем количественное исследование, которое дает возможность утвер-

ждать или отрицать предполагаемую неисправность Однако такие качественные испытания далеко не всегда приводят к правильным выводам относительно причин возможных неисправностей, тогда приходится прибегать к количественным исследованиям, неотъемлемым элементом которых являются измерения.

3. Общие сведения об измерениях и измерительных приборах

Измерением называется сравнение измеряемой величины с ее значением, принятым за единицу. Например, измерить напряжение — значит определить, какому числу единиц напряжения (вольт) равно измеряемое напряжение.

В табл. 1 представлены некоторые электрические величины и единицы их измерения.

Таблица 1

Электрические величины и единицы их измерения

Наименование величины	Единица измерения	Дольные единицы	Кратные единицы
Ток	Ампер (*а*)	Миллиампер (*ма*) 1 *ма* = 10^{-3} *а*, микроампер (*мка*) 1 *мка* = 10^{-6} *а*	Килоампер (*ка*) 1 *ка* = 10^{3} *а*
Напряжение	Вольт (*в*)	Милливольт (*мв*) 1 *мв* = 10^{-3} *в*; микровольт (*мкв*) 1 *мкв* = 10^{-6} *в*	Киловольт (*кв*) 1 *кв* = 10^{3} *в*
Мощность	Ватт (*вт*)	Милливатт (*мвт*) 1 *мвт* = 10^{-3} *вт*; микроватт (*мквт*) 1 *мквт* = 10^{-6} *вт*	Киловатт (*квт*) 1 *квт* = 10^{3} *вт*
Сопротивление	Ом (*ом*)	Миллиом (*мом*) 1 *мом* = 10^{-3} *ом*	Килоом (*ком*) 1 *ком* = 10^{3} *ом*; мегаом (*Мом*) 1 *Мом* = 10^{6} *ом*
Емкость	Фарада (*ф*)	Микрофарада (*мкф*) 1 *мкф* = 10^{-6} *ф*; пикофарада (*пф*) 1 *пф* = 10^{-12} *ф*	
Индуктивность	Генри (*гн*)	Миллигенри (*мгн*) 1 *мгн* = 10^{-3} *гн*; микрогенри (*мкгн*) 1 *мкгн* = 10^{-6} *гн*	
Частота	Герц (*гц*)		Килогерц (*кгц*) 1 *кгц* = 10^{3} *гц*; мегагерц (*Мгц*) 1 *Мгц* = 10^{6} *гц*

Различают прямые и косвенные измерения. При прямом измерении значение измеряемой величины определяется непосредственно опытным путем с помощью измерительного прибора. Например, величина тока может быть измерена непосредственно с помощью амперметра. При косвенном измерении значение измеряемой величины получается в результате вычислений, производимых над другими величинами, которые в свою очередь находятся прямыми измерениями. Например, мощность постоянного тока можно вычислить как произведение измеренных прямым путем напряжения и величины тока

Для выполнения прямых (а в конечном итоге и косвенных) измерений применяются различные измерительные приборы, которые классифицируются по назначению, роду измеряемой величины, способу отсчета показаний, принципу действия и точности.

По назначению приборы подразделяются на образцовые и рабочие, причем последние делятся на лабораторные и технические. Образцовые приборы служат исключительно для градуировки и поверки рабочих приборов при их изготовлении и эксплуатации. Рабочие приборы предназначены для практических измерений. Лабораторные приборы отличаются от технических большей точностью, достигаемой учетом влияния окружающей среды на результат измерений и введением соответствующих поправок. Технические приборы применяются для непосредственных измерений, причем никаких поправок на влияние окружающей среды не вводится, и полученные результаты измерений считаются технически точными. В радиолюбительской практике применяются главным образом технические измерительные приборы.

По роду измеряемой величины приборы подразделяются на приборы для измерения тока (амперметры, миллиамперметры, микроамперметры), для измерения напряжения (вольтметры, милливольтметры, киловольтметры), для измерения частоты (частотомеры) и т. д. Существуют также универсальные приборы, позволяющие измерять несколько величин, например ампервольтомметры (авометры) — для измерения тока, напряжения и сопротивления, универсальные мосты — для измерения сопротивления, индуктивности и емкости.

По способу отсчета показаний приборы делятся на приборы с непосредственным отсчетом и приборы с управляемым отсчетом. Прибор с непосредственным отсчетом после приведения его в действие дает показания, непосредственно считываемые со шкалы или иного отсчетного приспособления. Примером такого прибора может служить амперметр, дающий показания сразу же после включения его в цепь измеряемого тока. Приборы с управляемым отсчетом отличаются тем, что после приведения прибора в действие для отсчета показаний требуется еще передвижение самого прибора или его частей. Например, резонансный волномер дает показания только после настройки его на измеряемую частоту.

Все измерительные приборы, предназначаемые для измерения электрических величин, в соответствии с их конструкцией делятся на две группы: электромеханические (сокращенно электроизмерительные) и радиоэлектронные (сокращенно радиоизмерительные).

По типу измерительного механизма электроизмерительные приборы делятся на приборы магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, электростатической и других систем.

В радиоизмерительных приборах в качестве конечного измерителя (отсчетного устройства) наиболее часто применяется измерительный механизм магнитоэлектрической системы, угол поворота подвижной части которого (стрелки) пропорционален среднему значению тока, протекающего по его рамке.

Точность измерительного прибора характеризуется его *погрешностью*, т. е. степенью приближения его показаний к действительному значению измеряемой величины. Различают *абсолютную*, *относительную* и *приведенную* погрешности.

Абсолютной погрешностью прибора называется разность между его показанием и действительным значением измеряемой величины. Например, для прибора, измеряющего величину тока,

$$\Delta I = I - I_д, \quad (1)$$

где ΔI — абсолютная погрешность; I — показание прибора; $I_д$ — действительное значение величины тока.

В зависимости от имеющего место соотношения между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины абсолютная погрешность может оказаться или положительной, или отрицательной. В некоторых случаях один и тот же прибор может иметь на одних участках шкалы положительную, а на других — отрицательную абсолютную погрешность.

Абсолютная погрешность, взятая с обратным знаком, называется *поправкой*. Очевидно, поправка — это величина, которую необходимо прибавить к показанию прибора, чтобы получить действительное значение измеряемой величины.

Пример. Определить абсолютную погрешность и поправку, если показание миллиамперметра 50 *ма*, а действительное значение величины тока 52 *ма*.

Согласно формуле (1) асболютная погрешность составляет:

$$\Delta I = 50\ ма - 52\ ма = -2\ ма,$$

а поправка равна 2 *ма*.

Относительной погрешностью называется процентное отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины. В частности, при измерении величины тока относительная погрешность выражается формулой

$$\alpha = \frac{\Delta I}{I_д} \cdot 100\% = \frac{I - I_д}{I_д} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Пример. Определить относительную погрешность, если показание миллиамперметра 24 *ма*, а действительное значение величины тока 25 *ма*.

В соответствии с формулой (2) относительная погрешность равна:

$$\alpha = \frac{24\ ма - 25\ ма}{25\ ма} \cdot 100\% = -4\%.$$

Поскольку при разных измерениях абсолютная погрешность может быть положительной или отрицательной, то и относительная погрешность может оказаться как положительной, так и отрицательной. В большинстве случаев при использовании технических измерительных приборов знак погрешности неизвестен заранее.

В таких случаях положительные и отрицательные погрешности считаются равновероятными и при указании относительной погрешности проставляются оба знака

Часто при записи относительной погрешности знак ± опускается Однако и в этом случае необходимо учитывать, что действительное значение измеряемой величины может отличаться от показания прибора как в сторону уменьшения, так и увеличения.

Приведенной погрешностью называется процентное отношение абсолютной погрешности к наибольшему значению измеряемой по шкале прибора величины В частности, при измерении величины тока приведенная погрешность равна

$$\beta = \frac{\Delta I}{I_{макс}} \cdot 100\% = \frac{I - I_д}{I_{макс}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где ΔI — абсолютная погрешность измерения; $I_{макс}$ — наибольшее значение измеряемой величины тока.

Выражения, аналогичные формулам (1), (2), (3), справедливы и для погрешностей приборов, измеряющих напряжение, мощность, сопротивление и другие величины.

Гарантируемая точность измерительного прибора определяется его *классом точности*, который численно равен величине максимальной приведенной погрешности, определяемой в нормальных условиях[1] и выраженной в процентах.

Промышленностью выпускаются электро- и радиоизмерительные приборы десяти классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0 и 10,0. В радиолюбительской практике, где обычно не возникает необходимости в высокой точности измерений, чаще всего применяются приборы классов 1,5; 2,5; 4,0; 6,0 и 10,0. Во многих случаях вполне удовлетворительная для любительских целей точность обеспечивается даже внеклассными приборами.

Необходимо учитывать, что класс точности не определяет окончательно фактическую относительную погрешность измерения, поскольку он равен относительной погрешности, приведенной к максимальному значению шкалы, а при измерениях показания прибора составляют лишь часть максимального значения шкалы. При этом относительная погрешность может оказаться больше приведенной погрешности.

Пример. Определить относительные погрешности при измерении токов 150, 50 и 10 *мка* микроамперметром класса 2,5 со шкалой на максимальный ток 200 *мка*.

Допустимая максимальная абсолютная погрешность этого прибора при измерении токов любой величины одинакова и может быть найдена с помощью формулы (3), из которой следует, что

$$\Delta I = \frac{\beta I_{макс}}{100\%} = \frac{\pm 2{,}5 \cdot 200\ мка}{100\%} = \pm 5\ мка.$$

При измерении тока величиной 150 *мка* (максимальная) относительная погрешность согласно формуле (2) равна:

$$\alpha_1 = \frac{\Delta I}{I_{д1}} \cdot 100\% = \frac{\pm 5\ мка}{150\ мка} \cdot 100\% = \pm 3{,}3\%.$$

---

[1] Нормальные условия: температура окружающего воздуха 20 ±5° С; атмосферное давление 760 ±30 *мм рт. ст.*; относительная влажность 60 ±15%; нормальное положение прибора.

При измерении тока 50 *мка* максимальная относительная погрешность составляет:

$$\alpha_2 = \frac{\Delta I}{I_{д2}} \cdot 100\% = \frac{\pm 5\ мка}{50\ мка} \cdot 100\% = \pm 10\%.$$

При токе 10 *мка* максимальная относительная погрешность возрастает до

$$\alpha_3 = \frac{\Delta I}{I_{д3}} \cdot 100\% = \frac{\pm 5\ мка}{10\ мка} \cdot 100\% = \pm 50\%.$$

Как видно из примера, допустимая относительная погрешность измерений возрастает с уменьшением измеряемой величины. При малых измеряемых величинах, соответствующих началу шкалы прибора, относительная погрешность весьма значительна. Поэтому при ответственных измерениях необходимо выбирать прибор (или предел многопредельного прибора) так, чтобы значение измеряемой величины соответствовало правой половине его шкалы. В противном случае относительная погрешность измерения может оказаться недопустимо большой даже при использовании прибора высокого класса точности.

Рассмотренные выше погрешности возникают при прямых измерениях. Что же касается косвенных измерений, то их погрешности зависят не только от класса применяемых приборов, но также и от характера зависимости между определяемой величиной и величинами, измеряемыми прямым путем с помощью приборов. Поэтому погрешность косвенного измерения может оказаться различной в зависимости от применяемого метода измерения искомой величины.

Выполнению косвенного измерения должна предшествовать оценка получающихся погрешностей, на основании которой производится выбор наилучшего метода измерения применительно к конкретному случаю. Вообще следует учитывать, что при любых косвенных измерениях погрешность результата увеличивается с возрастанием числа измеряемых прямым путем величин, входящих в расчетную формулу. Поэтому необходимо стремиться к получению искомого результата с помощью наиболее простых зависимостей. Некоторые указания по оценке погрешностей отдельных видов косвенных измерений приводятся в гл. 2 при описании методов измерений. Относительные погрешности косвенных измерений выражаются через относительные погрешности прямых измерений с помощью соответствующих формул. Это позволяет оценить погрешность косвенного измерения и, исходя из требуемой точности результата, выбрать необходимые для измерения приборы, обеспечивающие заданную точность.

4. Радиоизмерения и радиоизмерительная аппаратура

Радиотехнические устройства предназначены в конечном итоге для передачи и приема информации в виде телеграфных, телефонных, телевизионных и других сигналов. Эти сигналы подвергаются в радиосхемах различным воздействиям: усилению, преобразованию частоты, детектированию и др В осуществлении этих процессов и заключается функциональная роль радиосхем.

Для нормальной работы радиоэлектронного устройства необходимо, чтобы величины действующих в нем сигналов, а также питающих его напряжений и токов поддерживались в определенных пределах. Напряжения, приложенные к электродам электронных приборов (радиоламп, транзисторов и др.), и токи, протекающие в их цепях, определяют электрический режим этих приборов и всего устройства в целом. Поэтому проверка и налаживание радиоэлектронных схем сопряжены с измерением величин токов и напряжений.

Установка и поддержание электрического режима необходимы, но далеко не достаточны для удовлетворительной работы радиоустройства, которая зависит и от ряда других факторов, в том числе и от качества электронных приборов. В связи с этим приходится измерять также параметры электронных приборов. Важнейшими параметрами являются ток эмиссии и крутизна характеристики электронных ламп, коэффициент усиления и обратный ток транзисторов, прямое и обратное сопротивления полупроводниковых диодов и др.

Наконец, в ряде случаев необходимо измерять параметры радиоустройства в целом (например, чувствительность приемника, мощность передатчика), отдельных его частей (частоту генератора, коэффициент усиления каскада) или деталей (индуктивность катушки, сопротивление резистора и т. п).

В процессе измерения названных величин обнаруживается их соответствие (в пределах допусков) номинальным значениям или, наоборот, отклонение от этих значений. Сопоставление полученных результатов позволяет судить о явлениях и процессах, происходящих в электронном устройстве, выявлять нарушения его работы, устранять неисправности, производить настройку и регулировку и устанавливать предусмотренные техническими характеристиками параметры устройства и его элементов.

Таким образом, важнейшими измерениями в радиолюбительской практике являются: измерения величины тока, напряжения и мощности, измерения параметров электронных ламп и полупроводниковых приборов, измерения параметров радиоэлектронных устройств и их элементов.

Для осуществления этих измерений применяется соответствующая радиоизмерительная аппаратура как промышленного изготовления, так и самодельная. Используемые радиолюбителями измерительные приборы весьма разнообразны по назначению, техническим характеристикам и конструктивному оформлению. В большинстве случаев радиолюбители применяют универсальные измерительные приборы. Так, например, наиболее употребительным в любительской практике прибором является ампервольтомметр (авометр), который иногда предназначен также и для измерения параметров транзисторов. Измерители параметров цепей позволяют определять сопротивления, индуктивности и емкости Универсальные измерительные приборы более удобны в эксплуатации, а их изготовление требует меньших затрат, чем изготовление нескольких приборов узкоспециального назначения.

Глава вторая

ОСНОВНЫЕ РАДИОИЗМЕРЕНИЯ

5. Измерение тока

Измерительный прибор образуется измерительным механизмом (измерителем) и измерительной цепью (шунты, добавочные резисторы, соединительные провода, зажимы и т. п.).

В качестве измерителей в приборах постоянного тока наиболее часто применяются измерители магнитоэлектрической системы, важнейшими характеристиками которых являются т о к п о л н о г о о т к л о н е н и я стрелки и внутреннее с о п р о т и в л е н и е р а м к и.

В табл. 2 приведены технические данные некоторых измерителей магнитоэлектрической системы, которые могут быть использованы для построения приборов, измеряющих токи и напряжения.

Для измерения тока служат а м п е р м е т р ы (миллиамперметры, микроамперметры). Они могут включаться в цепь измеряемого тока непосредственно (при измерении малых токов; рис. 1, *а*) или с шунтами (резисторами малого сопротивления), расширяющими

Таблица 2

Данные некоторых измерителей магнитоэлектрической системы

Тип измерителя	Ток полного отклонения, *мка*	Сопротивление рамки, *ом*	Классы точности	Габариты измерителя, *мм*
ИТ	150	1500	1,5	100 × 83 × 54
М20	1000	350	2,5	63 × 63 × 50
М24	50	3000	1,5; 2,5	126 × 106 × 57
М24	100	3000	1; 1,5; 2,5	126 × 106 × 57
М24	200	900	1; 1,5; 2,5	126 × 106 × 57
М24	500	500	1; 1,5; 2,5	126 × 106 × 57
М49	200	700	2,5	83 × 83 × 54
М49	300	350	2,5	83 × 83 × 54
М49	500	350	2,5	83 × 83 × 54
М264	1000	150	2,5	83 × 83 × 57
М265	50	3000	1,5	126 × 106 × 57
М265	100	900	1; 1,5	126 × 106 × 57
М265	200	150	1; 1,5	126 × 106 × 57
М265	500	150	1; 1,5	126 × 106 × 57
М265	1000	150	1	126 × 106 × 57
М494	50	2000	2,5	83 × 83 × 54
М494	100	700	2,5	83 × 83 × 54
М592	100	800	2,5	63 × 63 × 52
М592	200	800	2,5	63 × 63 × 52
М592	300	500	2,5	63 × 63 × 52
М592	500	500	2,5	63 × 63 × 52

пределы измерения (рис. 1, *б*). Сопротивление шунта должно быть таким, чтобы через рамку измерителя протекала лишь часть предельного измеряемого тока, соответствующая току полного отклонения.

Необходимое сопротивление шунта определяется по формуле

$$R_{ш} = R_{и} \frac{I_{и}}{I - I_{и}}, \qquad (4)$$

где $R_{ш}$ — сопротивление шунта; $R_{и}$ — внутреннее сопротивление измерителя; $I_{и}$ — ток полного отклонения измерителя; I — нужный предел измерения тока.

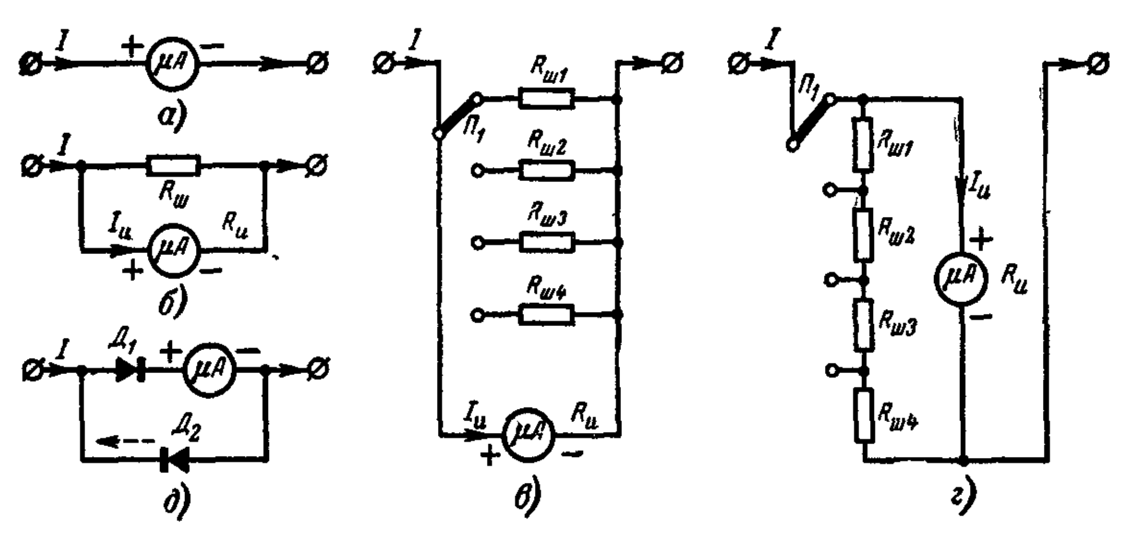


Рис. 1. Измерение величины тока.

а — непосредственное; *б* — с шунтом; *в* — с переключаемыми шунтами; *г* — с универсальным шунтом; *д* — переменного тока

Как правило, шунты изготовляются из провода с высоким удельным сопротивлением (манганинового или константанового), диаметр которого во избежание перегрева шунта должен быть не менее

$$d = 0{,}7\sqrt{I - I_{и}}, \qquad (5)$$

где d — диаметр провода, *мм*; I — измеряемый ток, *а*; $I_{и}$ — ток полного отклонения, *а*.

Пример. Измеритель имеет ток полного отклонения 1 *ма* и внутреннее сопротивление 350 *ом*. Требуется рассчитать к нему шунт для измерения токов до 100 *ма*.

По формулам (4) и (5) находим сопротивление шунта

$$R_{ш} = 350\ ом \frac{1\ ма}{100\ ма - 1\ ма} = 3{,}54\ ом$$

и диаметр его провода

$$d = 0{,}7\sqrt{0{,}1\ a - 0{,}001\ a} = 0{,}22\ мм.$$

Для получения нескольких пределов измерения величины тока можно применить несколько шунтов, поочередно присоединяя

мых к прибору переключателем (рис 1, *в*) При этом следует помнить, что переключение пределов при такой схеме можно производить только после отключения прибора от измеряемой цепи В противном случае в момент переключения шунтов возможно отсоединение шунтов от прибора, вследствие чего весь ток цепи потечет через прибор и может повредить его.

Избежать этого недостатка можно с помощью универсального шунта (рис. 1, *г*), представляющего собой цепочку резисторов, постоянно присоединенную параллельно прибору. В момент переключения пределов разрывается не цепь шунта, а цепь измеряемого тока, что не представляет опасности для измерительного прибора.

Для измерения с помощью магнитоэлектрического прибора переменного тока он должен быть предварительно выпрямлен диодом $Д_1$ (рис. 1, *д*), который пропускает через прибор только положительную полуволну тока Отрицательная же полуволна проходит через диод $Д_2$, предохраняющий диод $Д_1$ от пробоя его обратным напряжением Возможно также выпрямление переменного тока по мостовой схеме, в одну из диагоналей которой включается измерительный прибор Для выпрямления переменного тока частоты 50 *гц* обычно применяются меднозакисные (купроксные) столбики или полупроводниковые диоды. Из-за нелинейности вольт-амперных характеристик столбиков и диодов шкала прибора на переменном токе получается неравномерной. Расширение пределов измерения осуществляется с помощью шунтов, так же как и на постоянном токе

Измерение величины тока высокой частоты сопряжено с большими трудностями В специальной аппаратуре для этой цели применяются термопреобразователи, в которых высокочастотный ток подогревает спай термопары, вырабатывающей постоянный ток. Последний измеряется магнитоэлектрическим прибором, который градуируется по переменному току.

6. Измерение напряжения

Для измерения напряжения служат милливольтметры, вольтметры и киловольтметры Вольтметр включается параллельно участку цепи, на котором измеряется напряжение. Во избежание изменения режима этой цепи ток, ответвляющийся в цепь вольтметра, должен быть малым, т. е. сопротивление вольтметра должно быть велико Это условие выполняется, если в качестве вольтметра используется чувствительный измеритель тока (микроамперметр), последовательно с которым включается добавочный резистор, ограничивающий ток прибора. Таким образом, вольтметр состоит из градуированного в единицах напряжения стрелочного измерителя и добавочного резистора (рис 2, *а*).

Сопротивление добавочного резистора рассчитывается по формуле

$$R_д = \frac{U}{I_и} - R_и, \qquad (6)$$

где $R_д$ — сопротивление добавочного резистора; U — нужный предел измеряемого напряжения; $I_и$ — ток полного отклонении измерителя; $R_и$ — внутреннее сопротивление измерителя.

Пример. Измеритель имеет ток полного отклонения 300 *мка* и внутреннее сопротивление 500 *ом.* Требуется рассчитать к нему добавочный резистор для измерения напряжений до 3 *в.*

По формуле (6) определяем сопротивление добавочного резистора

$$R_д = \frac{3\ в}{0{,}3\ ма} - 0{,}5\ ком = 9{,}5\ ком.$$

Добавочный резистор вольтметра может быть намотан проводом с высоким удельным сопротивлением или составлен из двух-трех последовательно соединенных непроволочных резисторов. В любительских условиях чаще употребляются непроволочные резисторы, особенно при необходимости получить большие сопротивления, т. е. на высоковольтных пределах измерения.

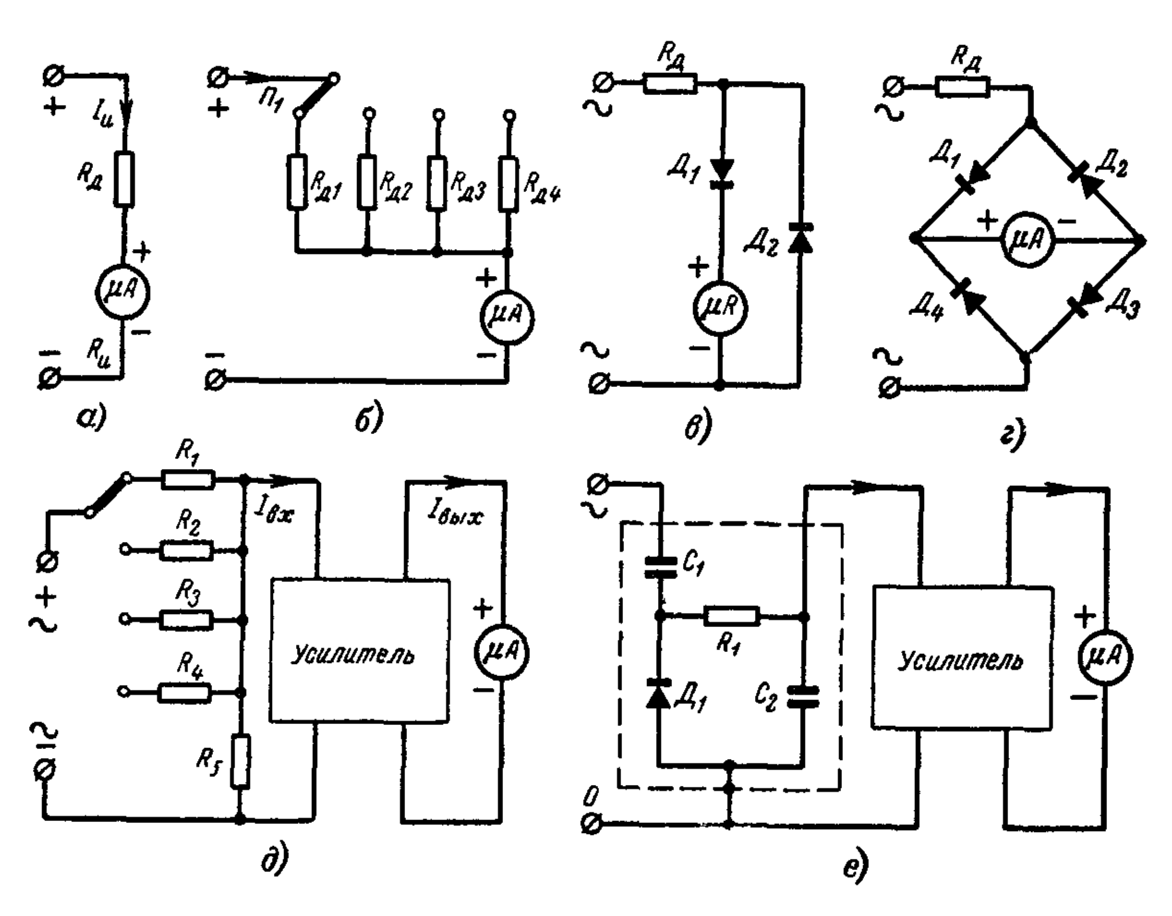


Рис. 2. Измерение напряжения.

а — с добавочным резистором, *б* — с переключаемыми добавочными резисторами, *в* — переменного напряжения по однополупериодной схеме; *г* — то же по мостовой схеме, *д* — с усилителем тока, *е* — то же с детекторной головкой-пробником

Многопредельный вольтметр содержит несколько добавочных резисторов, присоединенных к измерительному прибору с помощью переключателя (рис 2, *б*).

Измерение переменного напряжения с помощью прибора магнитоэлектрической системы осуществляется после его предварительного выпрямления диодами. Схемы вольтметров для измерения переменных напряжений приведены на рис. 2, *в*, *г*.

Сопротивление добавочного резистора, примененного в схеме на рис. 2, *в*, рассчитывается по формуле

$$R_д = \frac{U}{2{,}22 I_и}, \qquad (7)$$

где $R_д$ — сопротивление добавочного резистора; U — предел измеряемого переменного напряжения; $I_и$ — ток полного отклонения измерителя.

Сопротивление добавочного резистора, примененного в схеме на рис. 2, *г*, определяется по формуле

$$R_д = \frac{U}{1{,}11 I_и}. \qquad (8)$$

Формулы (7) и (8) дают приближенное значение сопротивления добавочного резистора, так как они не учитывают внутреннее сопротивление измерительного прибора и прямое сопротивление выпрямительных диодов. Поэтому окончательная подгонка добавочных резисторов вольтметра переменного напряжения производится опытным путем при его налаживании.

Подключение вольтметра к объекту измерения не должно сопровождаться существенным изменением его режима, т. е. вольтметр не должен заметно шунтировать объект измерения. Для измерения напряжения с удовлетворительной точностью необходимо, чтобы сопротивление вольтметра было, по крайней мере, в 20—50 раз больше сопротивления участка цепи, на котором измеряется напряжение. В противном случае показания вольтметра окажутся существенно заниженными.

Таким образом, сопротивление вольтметра является важным параметром, который должен учитываться при выполнении измерений. В большинстве случаев **входное сопротивление** вольтметра рассчитывается на 1 *в* его шкалы и измеряется в *ком/в*, что позволяет сопоставлять входные сопротивления вольтметров, имеющих различные пределы измерения.

Входное сопротивление вольтметров постоянного напряжения по схемам на рис. 2, *а*, *б* на 1 *в* равно:

$$R_{вх} = \frac{1}{I_и}, \qquad (9)$$

где $R_{вх}$ — входное сопротивление вольтметра на 1 *в*; $I_и$ — ток полного отклонения измерителя.

Входное сопротивление вольтметра переменного напряжения по схеме на рис. 2, *в* на 1 *в* равно:

$$R_{вх} = \frac{1}{2{,}22 I_и}, \qquad (10)$$

а по схеме на рис. 2, *г*

$$R_{вх} = \frac{1}{1{,}11 I_и}. \qquad (11)$$

Пример. Рассчитать входное сопротивление на 1 *в* вольтметра по схеме на рис. 2, *в*, если ток полного отклонения измерительного прибора равен 100 *мка*.

По формуле (10) находим:

$$R_{вх} = \frac{1}{2{,}22 \cdot 0{,}1 \ ма} = 4{,}5 \ 1/ма = 4{,}5 \ ком/в$$

Для измерения напряжений в высокоомных цепях необходимы вольтметры с большим входным сопротивлением. Повысить входное сопротивление можно или применением высокочувствительного измерительного прибора, что не всегда возможно, или введением в схему вольтметра усилителя тока.

В схеме вольтметра с усилителем (рис. 2, *д*) объект измерения нагружается входным током усилителя, который во много раз меньше тока измерителя, благодаря чему входное сопротивление вольтметра значительно возрастает. Такие вольтметры с ламповыми или транзисторными усилителями называются электронными и находят широкое применение для измерения напряжений в высокоомных цепях.

В любительских условиях из-за отсутствия высокочувствительных измерителей (микроамперметров) нередко оказывается целесообразным использование более доступных миллиамперметров в сочетании с транзисторными усилителями. Несмотря на некоторое усложнение схемы, такой вариант вполне приемлем для любительских конструкций, так как высокое входное сопротивление вольтметра достигается даже при малой чувствительности измерителя.

Для измерения высокочастотных напряжений электронный вольтметр снабжается выносной головкой-пробником, обычно собранной по схеме детектора с закрытым входом (рис. 2, *е*), в которой исключено проникновение на вход детектора постоянной составляющей напряжения из объекта измерения. В качестве детектора в выносном пробнике часто используется точечный полупроводниковый диод. Наличие выносного пробника позволяет сократить до минимума длину проводников, соединяющих вход детектора с объектом измерения, что значительно уменьшает расстройку, вносимую вольтметром в резонансные цепи объекта.

Кроме вольтметров, содержащих стрелочные измерительные приборы, известны также вольтметры, в которых в качестве индикатора напряжения применяются неоновые лампы или лампы накаливания. Не обеспечивая большой точности измерений, такие вольтметры тем не менее пригодны для ориентировочной оценки напряжения, например для контроля напряжения сети. Существуют также электронные вольтметры, в которых стрелочный прибор отсутствует, а роль индикатора напряжении играет электронно-световой индикатор.

Наконец, следует упомянуть о цифровых вольтметрах, в которых измеряемое напряжение представляется числом, изображаемым с помощью ламп накаливания, неоновых ламп или специальных электронных приборов: цифровых ламп и декатронов. Цифровые вольтметры удобны в эксплуатации и обеспечивают высокую точность измерения напряжений, однако их схемы и конструктивное устройство сложны. Поэтому цифровые вольтметры пока еще не нашли широкого применения в радиолюбительской практике.

7. Измерение мощности

Измерение мощности может производиться как прямым, так и косвенным методами. Прямое измерение мощности осуществляется ваттметрами, которые потребляют значительную энергию и заметно нагружают источник тока. Поэтому они применяются для измерения мощностей порядка десятков ватт и более. Что же касается малых мощностей, то в любительской практике их измеряют косвенными методами.

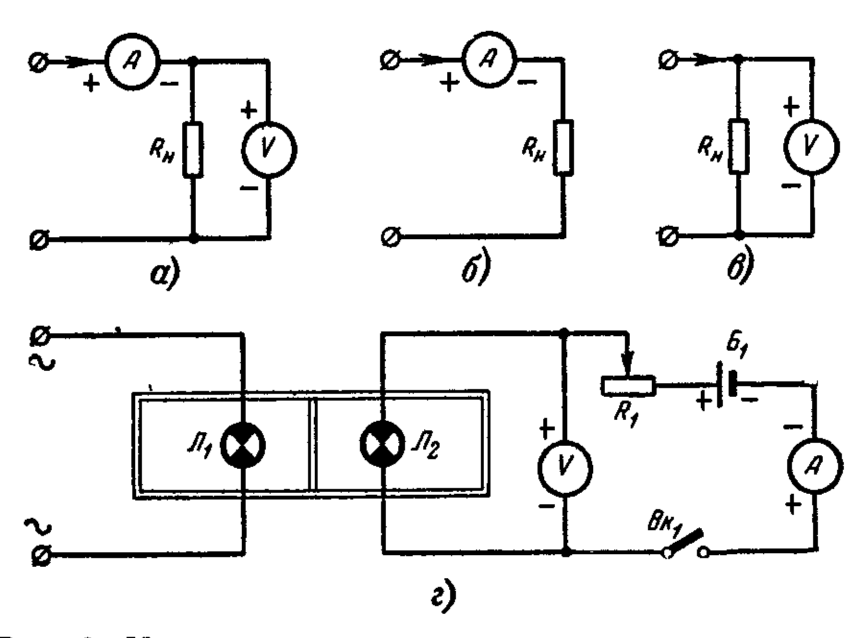


Рис. 3. Измерение мощности.

а — методом вольтметра — амперметра; *б* — с помощью амперметра; *в* — с помощью вольтметра; *г* — фотометрическим методом.

Мощность постоянного тока может быть определена с помощью вольтметра и амперметра (рис. 3, *а*), присоединяемых к потребителю мощности, величина которой рассчитывается по формуле

$$P = UI. \qquad (12)$$

Относительная погрешность такого измерения равна сумме относительных погрешностей измерений напряжения и величины тока

$$\alpha = \frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}. \qquad (13)$$

Если сопротивление нагрузки $R_н$, в которой поглощается измеряемая мощность, известно, то достаточно измерить величину тока, протекающего через нагрузку (рис. 3, *б*), и вычислить мощность по формуле

$$P = I^2 R_н. \qquad (14)$$

Относительная погрешность при таком методе измерения мощности равна:

$$\alpha = \frac{\Delta P}{P} = 2\frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta R_н}{R_н}. \qquad (15)$$

Мощность может быть также определена посредством измерения напряжения на известном сопротивлении нагрузки $R_н$ (рис. 3, *в*) и вычислена по формуле

$$P = \frac{U^2}{R_н}, \qquad (16)$$

причем относительная погрешность измерения мощности равна:

$$\alpha = \frac{\Delta P}{P} = 2\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta R_н}{R_н}. \qquad (17)$$

Перечисленные выше методы приемлемы также и для измерения мощности переменного тока, но лишь в том случае, если сопротивление нагрузки $R_н$ чисто активное (например, резистор, лампа накаливания и т. п.).

В частности, для измерения выходной мощности радиопередатчика можно нагрузить его эквивалентом антенны и измерить напряжение на нем вольтметром с высокочастотным пробником. Для передатчика, соединяющегося с антенной 75-омным коаксиальным кабелем, эквивалент антенны представляет собой несколько параллельно соединенных непроволочных резисторов общим сопротивлением 75 *ом*. После измерения напряжения на эквиваленте нагрузки искомая мощность вычисляется по формуле (16).

Более точное измерение мощности передатчика возможно с помощью схемы на рис. 3, *г*, содержащей две одинаковые лампы накаливания, из которых одна $Л_1$ присоединяется к выходу передатчика, а другая $Л_2$ включается в цепь постоянного тока и потребляемая ею мощность определяется по показаниям вольтметра и амперметра. Обе лампы располагаются на одинаковом расстоянии от матового стекла и разделяются светонепроницаемой перегородкой. Освещенность обеих половин стекла становится одинаковой при равенстве мощностей, потребляемых лампами $Л_1$ и $Л_2$. При измерении мощности равенство освещенностей устанавливается с помощью реостата R, включенного в цепь постоянного тока, а затем применяется формула (12).

Иногда требуется измерить мощность, потребляемую радиоустройством (приемником, телевизором и т. п.) от электрической сети переменного тока. Проще всего осуществить это с помощью счетчика электроэнергии, отключив другие потребители. Мощность определяется по формуле

$$P = \frac{N}{ct}, \qquad (18)$$

где N — отсчитанное за время измерения число оборотов диска счетчика; c — постоянная счетчика, указываемая на нем; t — время измерения, *сек*.

Относительная погрешность при таком методе измерения мощности получается порядка нескольких процентов, что вполне достаточно для практических целей.

Пример. Определить мощность, потребляемую телевизором, если диск счетчика делает 7 оборотов за 2 *мин*, а постоянная счетчика равна 1250 *об/квт·ч*.

С помощью формулы (18) находим:

$$R = \frac{7\ \text{об.}}{1\,250\ \frac{\text{об}}{\text{квт}\cdot\text{ч}}\cdot 2\ \text{мин}} = \frac{7\ \text{об.}\cdot 3\,600\ \text{квт}\cdot\text{сек}}{1\,250\ \text{об.}\cdot 2\cdot 60\ \text{сек}} = 0{,}17\ \text{квт} = 170\ \text{вт}.$$

8. Измерение сопротивления

Измерение сопротивлений резисторов, обмоток катушек и трансформаторов и других проводников имеет большое практическое значение, поскольку эти детали весьма распространены и применяются в радиоаппаратуре в большом количестве Измерение сопротивлений отдельных проводников и участков радиосхемы поз-

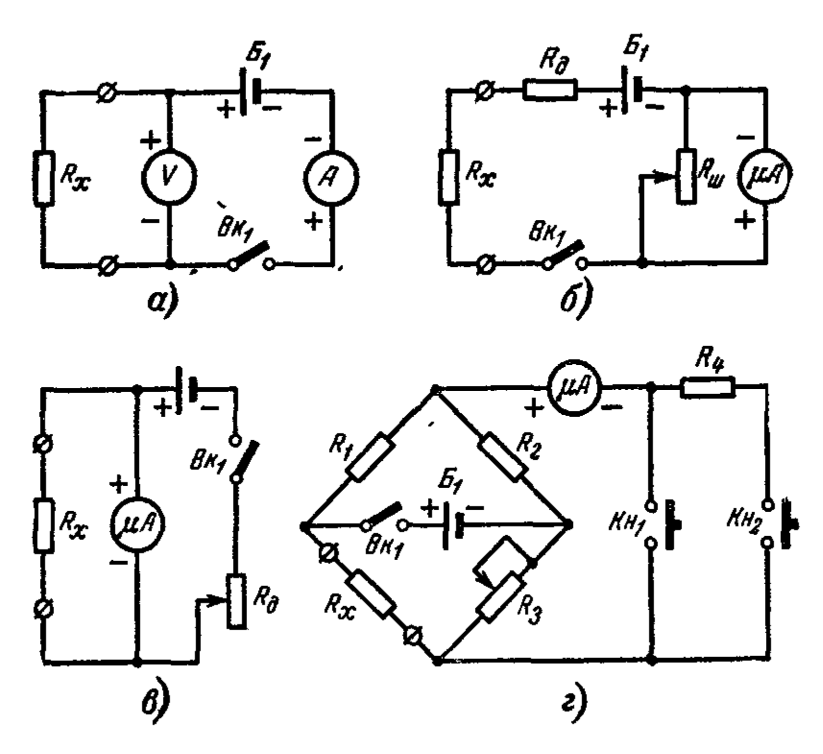


Рис. 4. Измерение сопротивления.

а — методом вольтметра—амперметра; *б* — омметром по последовательиой схеме; *в* — то же по параллельной схеме; *г* — методом моста.

воляет проверить правильность электрических соединений, отсутствие коротких замыканий в монтаже и таким образом предупреждать и выявлять возможные иеисправности радиоустройства.

Сопротивление может быть измерено с помощью вольтметра и амперметра (рис. 4, *а*) с последующим вычислением его величины по формуле

$$R = \frac{U}{I}. \tag{19}$$

Если измеряемое сопротивление значительно меньше сопротивления вольтметра и значительно больше сопротивления амперметра, то относительная погрешность измерения сопротивления может быть принята равной

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}. \tag{20}$$

При использовании распространенных измерительных приборов погрешность измерения сопротивления методом вольтметра — амперметра достигает 5—10%. Из-за необходимости применения двух измерительных приборов метод вольтметра—амперметра не нашел широкого распространения в любительской практике. Однако в некоторых случаях он оказывается полезным, например при измерении высокоомных сопротивлений. В качестве источника тока может использоваться батарея или выпрямитель, а напряжение и ток могут поочередно измеряться одним и тем же ампервольтомметром (авометром) в соответствующих включениях.

Более удобны прямые измерения сопротивления с помощью омметра. Схема омметра для измерения больших сопротивлений (рис. 4, *б*) состоит из последовательно соединенных измеряемого сопротнвления R_x, добавочного резистора $R_д$, источника тока $Б_1$ н микроамперметра (нлн мнллиамперметра) с регулируемым шунтом $R_ш$. Перед измерением, предварительно закоротив зажимы R_x, устанавливают шунтом $R_ш$ наибольшее отклонение стрелки прибора, соответствующее нулю шкалы омметра. После этого зажимы R_x разъединяют, и к ним подключают измеряемое сопротивление. Величину последнего отсчитывают по шкале прибора, проградуированной в единицах сопротивления.

Для измерення малых сопротнвленнй предпочтнтельнее омметр по схеме на рис. 4, *в*, в которой переменный добавочный резистор R_1 служит для предварительной установки максимального отклонения прибора, соответствующего ∞ шкалы омметра. Предварительная установка на ∞ производится непосредственно перед измерением. После этого подключается измеряемое сопротивление R_x, величина которого отсчитывается по шкале омметра.

Обе схемы омметров могут сочетаться в одном приборе при наличии в его схеме соответствующего переключателя Омметры обычно выполняются многопредельными, для чего в их схемы вводится несколько переключаемых добавочных резисторов и шунтов. Шкалы омметров неравномерны, а погрешности измерения могут достигать 10%. Несмотря на это, они находят широкое применение, особенно в качестве составной части ампервольтомметров (авометров).

При отсутствии достаточно чувствительного микроамперметра в любнтельских авометрах могут с успехом применяться миллиамперметры с транзисторными усилителями постоянного тока. Наличие в таком приборе источника напряжением несколько вольт позволяет использовать его и для питания схемы омметра, что упрощает конструкцию авометра.

В некоторых случаях, например при изготовлении измерительной аппаратуры, требуется измерение, подбор и подгонка резисторов с высокой точностью, недостижимой рассмотренными выше методами. В таких случаях прибегают к измерению сопротивлений по мостовой схеме (рис. 4, *г*). Измерительный мост представляет собой схему из двух известных постоянных резисторов R_1 и R_2, градуированного переменного резистора R_3 и измеряемого резистора R_x. На одну из диагоналей моста подается напряжение пита-

ния от источника тока $Б_1$, а в другую включается индикатор равновесия моста — микроамперметр с нулем посредине шкалы.

Процесс измерения заключается в уравновешивании моста (установке нулевых показаний микроамперметра) путем изменения сопротивления резистора R_3, что производится сперва при замыкании кнопки $Кн_2$, а затем более точно — при замыкании кнопки $Кн_1$. Благодаря указанному порядку измерений ограничительный резистор R_4 предохраняет микроамперметр от повреждения его большими токами в начальной стадии уравновешивания моста. После окончательного уравновешивания определяют величину введенного в схему сопротивления резистора R_3 и находят искомое сопротивление по формуле

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3. \qquad (21)$$

Для расширения пределов измерения схемы мостов обычно содержат несколько постоянных резисторов, коммутируемых переключателем, причем на различных пределах отношение сопротивлений $R_1 : R_2$ выбирается равным... 0,01; 0,1; 1; 10; 100 и т. д., что упрощает практические расчеты по формуле (21).

Погрешность измерения сопротивления мостом практически не зависит от напряжения питания схемы и класса точности применяемого в ней микроамперметра. Поэтому точность измерительных мостов постоянного тока весьма высока и для промышленных приборов соответствует относительной погрешности порядка десятых или сотых долей процента.

В любительских условиях, где потребность в точных измерениях сопротивлений возникает лишь изредка, можно использовать временные мостовые схемы, применяя в качестве R_1 и R_2 резисторы типа УЛИ или БЛП, а в качестве переменного резистора R_3— магазин, составленный из резисторов этих же типов, или градуированный проволочный переменный резистор. При отсутствии микроамперметра с нулем посредине шкалы можно воспользоваться обычным микроамперметром, сместив его стрелку с помощью корректора на одно из начальных делений шкалы, и при измерениях уравновешивать мост на этом делении. Индикатором равновесия моста могут служить также головные телефоны, однако при этом необходимо питать мост переменным током. Возможно питание моста от электрической сети через понижающий трансформатор, но поскольку слух наиболее чувствителен при частотах порядка 1 000 *гц*, лучше питать мост переменного тока от звукового генератора.

9. Измерительные генераторы

Для различного рода измерений и работ по настройке радиоаппаратуры требуются источники электрических колебаний с регулируемыми частотой и амплитудой. В качестве таких источников применяются измерительные генераторы. В зависимости от частотного диапазона различают измерительные генераторы звуковой, ультразвуковой, высокой и сверхвысокой частот. В радиолюбительской практике преимущественно применяются генераторы звуковой и высокой частот.

Измерительные генераторы звуковой частоты служат для налаживания и измерения параметров различных устройств, работающих в диапазоне звуковых частот: усилителей, фильтров, громкоговорителей и др. С помощью измерительных генераторов определяются такие важнейшие характеристики этих устройств, как коэффициент усиления, чувствительность, ширина полосы пропускания, избирательность фильтров.

Блок-схема генератора звуковой частоты приведена на рис. 5, *а*.

Задающий генератор прибора вырабатывает синусоидальные колебания, частота которых может плавно регулироваться в диапазоне 20—20 000 *гц*, а в некоторых случаях и свыше 20 000 *гц*.

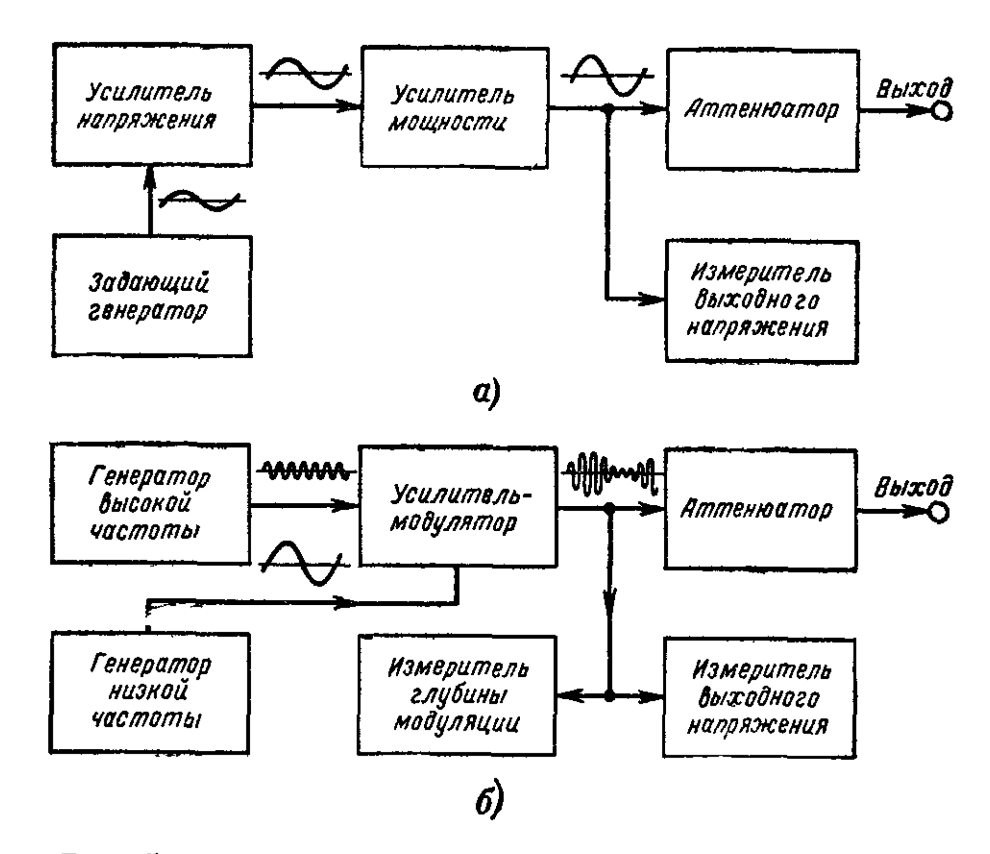


Рис. 5. Блок-схемы измерительных генераторов.

а — генератор звуковой частоты; *б* — генератор высокой частоты с амплитудной модуляцией.

Обычно в генераторах звуковой частоты применяются безындуктивные схемы (*RC*-генераторы), так как изготовление *LC*-контуров на частоты порядка десятков и сотен герц технически сложно, а их плавная настройка затруднительна. В *RC*-генераторах индуктивности отсутствуют, а в качестве частотозадающих элементов используются цепочки из резисторов и конденсаторов или частотноизбирательные фильтры, состоящие также из резисторов и конденсаторов. В некоторых любительских конструкциях задающий генератор работает на одной или нескольких фиксированных частотах, выбираемых в пределах звукового диапазона.

Колебания задающего генератора имеют незначительную мощность и вследствие этого должны подвергаться усилению. Усилитель должен иметь широкую полосу пропускания и не искажать синусоидальную форму колебаний. Помимо основного назначения, усилитель отделяет нагрузку от задающего генератора, что устраняет влияние нагрузки на частоту колебаний задающего генератора.

Напряжение на выходе усилителя измеряется вольтметром, и его величина может регулироваться в широких пределах. Выходное напряжение транзисторных генераторов звуковой частоты составляет единицы вольт, а ламповых — десятки вольт, причем выходная мощность ламповых генераторов достигает нескольких ватт, что позволяет использовать их для питания исследуемых громкоговорителей, трансформаторов, фильтров и других устройств, потребляющих значительные мощности.

Для измерения параметров высокочувствительных усилителей требуются сигналы звуковой частоты с весьма малыми напряжениями (милливольты и доли милливольта) Поэтому между усилителем генератора и его выходом включается аттенюатор — электрическая цепь, позволяющая ослабить выходной сигнал в определенное регулируемое число раз. Аттенюатор представляет собой калиброванный делитель напряжения, состоящий из резисторов и переключателя, с помощью которого можно уменьшать выходное напряжение в необходимой степени.

В измерительных генераторах принимаются эффективные меры (тщательное экранирование, развязывающие фильтры), предотвращающие проникновение сигнала на выход прибора и далее к испытываемому устройству помимо аттенюатора. Благодаря этому напряжение на выходе прибора с достаточной точностью может считаться равным произведению показаний вольтметра на коэффициент передачи аттенюатора. Сигнал с выхода генератора подается на испытываемое устройство по экранированному кабелю, что исключает наводки на его вход от других источников низкочастотного напряжения. Измерительные генераторы высокой частоты используются в качестве источников модулированных и немодулированных колебаний с регулируемыми частотой, амплитудой и глубиной модуляции. Различают генераторы стандартных сигналов и сигнал-генераторы, причем последние имеют несколько меньшую точность калибровки выходного сигнала по амплитуде и глубине модуляции. Блок-схема измерительного генератора высокой частоты с амплитудной модуляцией изображена на рис. 5, *б*.

Задающий *LC*-генератор вырабатывает плавно регулируемые по частоте колебания в диапазоне 0,1—25 *Мгц* (иногда и свыше 25 *Мгц*). Эти колебания усиливаются и модулируются по амплитуде в усилителе-модуляторе, к которому подводится модулирующее напряжение от генератора низкой частоты (обычно 400 *гц* или 1 000 *гц*). Модулированное напряжение поступает на аттенюатор, а также на измерители выходного напряжения и глубины модуляции. С аттенюатора сигнал по высокочастотному коаксиальному кабелю подается на исследуемый объект.

Наряду с другими областями применения, измерительные генераторы высокой частоты используются при настройке и испытании радиоприемников в качестве имитаторов сигналов радиостанций. Поскольку чувствительность современных приемников весьма велика, для надлежащего ослабления сигнала между выходом генератора и входом приемника нередко включают второй, дополнительный аттенюатор, располагающийся на удаленном от генератора конце высокочастотного кабеля Благодаря действию аттенюаторов выходное напряжение генератора высокой частоты регулируется в широких пределах: от сравнительно больших значений (порядка 1 *в*) до предельно малых (доли микровольта) и устанавливается с достаточной точностью.

Для получения стабильных сигналов в течение длительного времени в измерительных генераторах применяются колебательные контуры высокой добротности, температурная компенсация ухода частоты, слабая связь задающего генератора с нагрузкой и другие меры. Питание измерительных генераторов осуществляется от стабилизированных источников тока. С помощью специальных схем производится стабилизация амплитуды выходного напряжения и подавление нежелательных гармоник напряжения, частота которых кратна частоте сигналов, что позволяет значительно улучшить параметры любительских измерительных генераторов.

Погрешность установки частоты промышленных измерительных генераторов обычно порядка 1%, амплитуды — 10%, глубины модуляции — 10%. Получение таких параметров в любительских приборах затруднительно. Наибольшие трудности сопряжены с обеспечением необходимой точности калибровки выходного сигнала по амплитуде. Чтобы получить на выходе генератора достаточно точно калиброванный сигнал, надо предотвратить неконтролируемое излучение генератора. В промышленных приборах это обеспечивается с помощью экранов и фильтров. Эффективность же фильтров и экранировки в любительских конструкциях обычно недостаточна, вследствие чего колебания генератора распространяются по проводам питания, проникают в питающую прибор электрическую сеть и через нее воздействуют на исследуемый объект. При неудачной конструкции паразитные наводки по проводам питания могут превзойти сигнал, снимаемый с аттенюатора, что делает невозможным определение фактической величины поступающего на объект напряжения высокой частоты.

Возникающие в связи с этим трудности могут быть успешно преодолены в генераторах с питанием от батарей, особенно в транзисторных. Помещение такого генератора вместе с источником питания в сплошной экран и тщательное экранирование аттенюатора от остальных элементов схемы практически полностью исключает паразитное излучение сигнала, что позволяет калибровать выходное напряжение с приемлемой точностью.

Уход частоты транзисторных генераторов с батарейным питанием может быть сделан относительно малым, так как благодаря малому потреблению энергии транзисторной схемой падение напряжения батарей в процессе измерения незначительно, а самопрогрев транзисторов и других деталей практически отсутствует.

Кроме генераторов сигналов общего назначения, применяются также специальные генераторы, например для настройки и проверки телевизоров. Параметры современных транзисторов позволяют создавать измерительные генераторы, полностью перекрывающие диапазон частот, отведенных для телевизионного вещания. Следовательно, транзисторы могут с успехом применяться и в приборах для настройки телевизоров.

В некоторых практических случаях, например для градуировки приемников и передатчиков, работающих в отведенных для любительской радиосвязи узких частотных диапазонах, могут потребоваться калибровочные сигналы с большей точностью установки частоты, чем та, которую обеспечивают измерительные генераторы.

Пример. Требуется проградуировать шкалу любительского связного приемника в диапазоне 28—29,7 *Мгц* с погрешностью не

более ±50 *кгц* Определить максимально допустимую относительную погрешность установки частоты измерительного генератора.

По формуле (2) находим:

$$\alpha = \frac{0{,}05\ \text{Мгц}}{29{,}7\ \text{Мгц}} \cdot 100\% = 0{,}17\%.$$

Получить сигнал со столь малой относительной погрешностью установки частоты от промышленного, а тем более самодельного измерительного генератора невозможно даже, если бы он и был первоначально проградуирован с такой погрешностью Причина уменьшения точности градуировки генератора по частоте заключается главным образом в необратимом изменении свойств его деталей при их старении в процессе эксплуатации. Кроме того, значительные изменения частоты происходят при колебаниях температуры окружающей среды, а также влажности воздуха.

Калибровочные сигналы высокой точности могут быть получены от кварцевых калибраторов частоты — генераторов, в которых в качестве колебательных систем применяются не *LC*-контуры, а пластинки, вырезанные из кристалла кварца Частота колебаний такого генератора определяется геометрическими размерами кварцевой пластинки и ориентировкой ее граней относительно исходного кристалла и весьма незначительно зависит от режима питания схемы и температуры окружающей среды Благодаря этому частота колебаний, генерируемых кварцевым калибратором, сохраняется неизменной как в процессе эксплуатации, так и при длительном хранении в нерабочем состоянии.

Погрешность калибровки кварцевых пластин не превышает сотых долей процента и может быть еще уменьшена посредством их термостатирования В радиолюбительской аппаратуре к термостатированию не прибегают, ограничиваясь лишь предохранением кварцевых пластин от нагревания их теплотой, рассеиваемой другими деталями.

Верхний предел частоты колебаний кварцевых пластин ограничен несколькими десятками мегагерц, причем такие пластины малодоступны для радиолюбителей. Поэтому, кроме напряжения с частотой собственных колебаний пластины, используются также гармоники — колебания с частотами, кратными основной частоте. Для получения большого количества гармоник электрический режим кварцевого генератора устанавливается так, чтобы форма генерируемых им колебаний сильно отличалась от синусоидальной. Соответствующим подбором режима можно добиться присутствия в выходном сигнале калибратора нескольких десятков гармоник.

Недостатком кварцевых калибраторов является невозможность плавной перестройки частоты сигнала. Однако применение сменных кварцев и использование многочисленных гармоник, кратных основной частоте, облегчает градуировку приемников, передатчиков и других устройств.

10. Измерение частоты

Для измерения частоты электрических колебаний применяются различные методы в зависимости от диапазона измеряемых частот и требуемой точности измерений.

Измерение звуковых и ультразвуковых частот может производиться методом периодического заряда конденсатора от источника тока и разряда его через магнитоэлектрический измеритель с частотой, равной измеряемой. При этом шкала измерителя градуируется в единицах частоты, так как средний ток, протекающий через него, прямо пропорционален измеряемой частоте. В радиолюбительской практике этот метод не нашел широкого применения, так как измерение низких частот требуется довольно редко

Гораздо чаще необходимо измерять частоту колебаний в диапазоне высоких и сверхвысоких частот, поскольку такие измерения необходимы при регулировке, настройке, градуировке, испытаниях и ремонте приемников, передатчиков и их элементов.

Используемый для радиовещания и других видов радиопередач частотный диапазон разделен на участки различного назначения, причем для излучения каждого радиопередатчика отводится определенная полоса частот Одновременная работа многочисленных радиопередатчиков без взаимных помех возможна только при условии строгого соблюдения отведенных для этой цели частот. Это обстоятельство налагает жесткие требования к точности установки и стабильности частоты передатчиков.

Радиоприемная техника, использующая для разделения различных сигналов принцип частотной избирательности, также выдвигает определенные требования к точности настройки приемников и поддержанию ее постоянства Таким образом, частота является одной из важнейших величин, характеризующих радиоустройства в целом.

Частоты настройки отдельных избирательных элементов и радиотехнического устройства в целом зависят в основном от параметров колебательных контуров Изменения частоты могут происходить как в результате изменений емкостей и индуктивностей самих контуров, так и вследствие влияния на эти контуры ламп, транзисторов, диодов и других связанных с ними деталей схемы Эти влияния могут оказаться весьма существенными, особенно на частотах метрового и дециметрового диапазонов, где индуктивности и емкости контуров соизмеримы с индуктивностями и емкостями радиоламп и транзисторов.

Поэтому необходимая частота настройки контура не может быть окончательно определена выбором его параметров, а зависит также от расстройки, вносимой в него другими элементами схемы. Точная установка резонансной частоты контура может быть произведена только путем его настройки в смонтированном устройстве. Настройке контуров вновь изготовленных радиоустройств и их подстройке при ремонте должно уделяться самое серьезное внимание, так как от правильности настройки существенно зависит работа устройства.

Например, нормальная работоспособность супергетеродинного радиоприемника обеспечивается только при правильной настройке входных контуров, контуров гетеродина и контуров (фильтров) промежуточной частоты. Расстройка гетеродинного контура приводит к смещению диапазона принимаемых частот, а уход частоты гетеродина из-за изменения параметров его контура во время приема проявляется в форме ослабления принимаемого сигнала или даже его полного исчезновения, вследствие чего возникает необходимость в частой подстройке приемника. Изменение частоты настройки контуров (фильтров) промежуточной частоты резко ухудшает

чувствительность и избирательность приемника, а при значительных расстройках прием может совершенно прекратиться. Расстройка входных контуров также влечет за собой уменьшение чувствительности и избирательности приемника, а также может явиться причиной искажений приема вследствие помех от других радиостанций.

Методы измерения частоты могут быть различными в зависимости от того, измеряется ли частота колебаний источника (генератора, передатчика) или же резонансная частота пассивного колебательного контура.

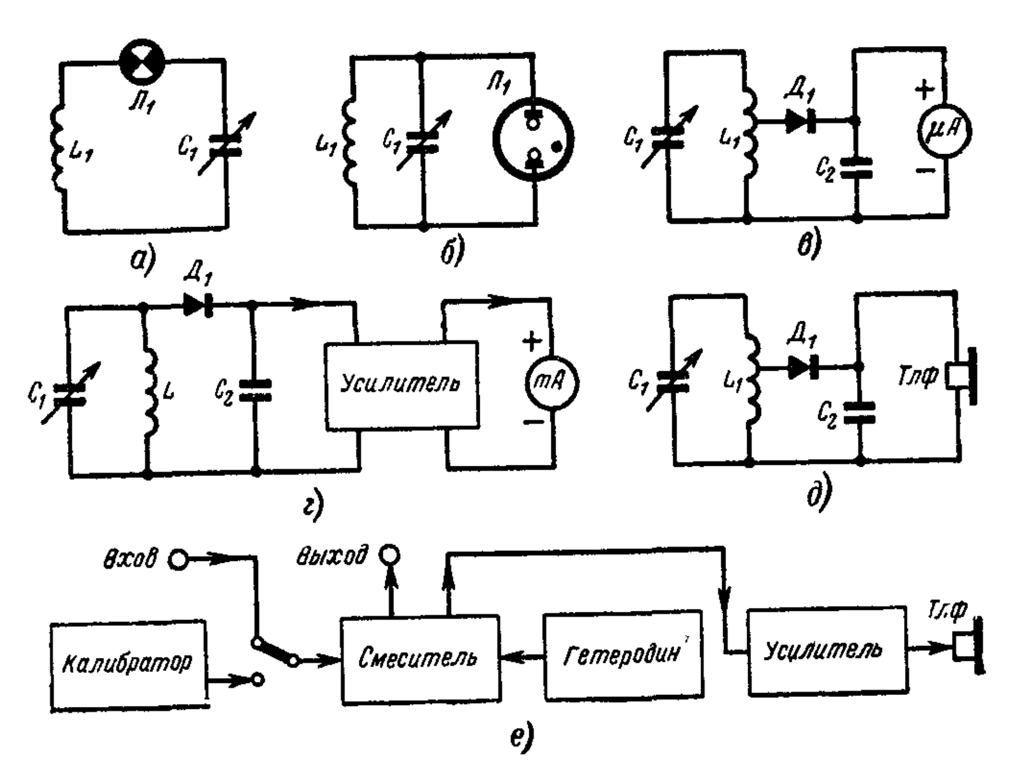


Рис. 6. Измерение частоты колебаний.

а — резонансный волномер с лампой накаливания; *б* — то же с неоновой лампой; *в* — то же с детектором и стрелочным прибором; *г* — то же с усилителем тока и стрелочным прибором; *д* — то же с детектором и головными телефонами; *е* — блок-схема гетеродинного частотомера.

Для измерения частоты источников колебаний применяются резонансные волномеры и гетеродинные частотомеры, отличающиеся друг от друга принципом действия и техническими характеристиками.

Резонансный волномер представляет собой колебательный контур, который слабо связывается с источником колебаний, частота которых подлежит измерению. Индикатором резонанса в контуре волномера могут служить лампа накаливания (рис. 6, *а*), неоновая лампа (рис. 6, *б*), магнитоэлектрический стрелочный прибор с детектором (рис. 6, *в*) или магнитоэлектрический измеритель с детектором и усилителем выпрямленного им тока (рис. 6, *г*). Последний вариант особенно целесообразен при невозможности применения в волномере высокочувствительного измерителя.

Настройка волномера в резонанс в большинстве случаев производится градуированным по частоте конденсатором переменной

емкости и значительно реже — переменной индуктивностью. Для получения нескольких диапазонов измерения частоты используются переключаемые или сменные катушки, а в случае индуктивной настройки — конденсаторы. Связь волномера с источником колебаний осуществляется путем приближения к нему, а если этого недостаточно, то присоединением к источнику через малую емкость.

Резонансный волномер по схеме, изображенной на рис. 6, *а*, пригоден для грубого (с погрешностью в несколько процентов) определения частоты колебаний задающего генератора и последующих каскадов передатчика. С целью получения более острой настройки рекомендуется применение в волномере маломощной низкоомной лампы накаливания (например, 2,5 *в*, 0,16 *а*), которая вносит в контур меньшее затухание, чем более высокоомная лампа. Для измерений необходима индуктивная связь катушки волномера с контурной катушкой объекта измерения. Настройку волномера начинают при достаточно сильной связи, а по мере приближения к резонансу ослабляют связь так, чтобы окончательной настройке соответствовало слабое свечение лампы.

Схема, изображенная на рис. 6, *б*, может использоваться для индикации настройки передатчика на частоту ее контура. При этом достаточно слабой связи волномера с выходом или антенным фидером передатчика.

Наиболее часто применяется резонансный волномер по схеме, изображенной на рис. 6, *в*, которая благодаря своей простоте и достаточно высокой точности измерения частоты используется как в промышленных, так и в любительских конструкциях волномеров КВ и УКВ диапазонов. При наличии высокочувствительного индикаторного прибора рекомендуется подключение детектора к части витков контурной катушки, что ослабляет шунтирование контура индикатором. Неполное включение контура позволяет увеличить остроту настройки волномера и повысить точность измерений.

В любительских резонансных волномерах могут с успехом использоваться малочувствительные индикаторы, имеющие ток полного отклонения 1—5 *ма* в сочетании с одно- или двухкаскадным усилителем постоянного тока на транзисторах (рис. 6, *г*). Недостатки транзисторных усилителей: зависимость усиления от температуры окружающей среды, дрейф нуля в данном случае не имеют существенного значения, поскольку индикатор волномера служит не для измерения тока, а для установки его максимального значения (индикации резонанса).

В волномере, предназначенном для измерения частоты модулированных колебаний, индикатором настройки могут служить головные телефоны (рис. 6, *д*). По существу такой волномер представляет собой градуированный по частоте детекторный приемник, который, помимо основного назначения, пригоден также для слухового контроля работы радиопередатчика.

Резонансным волномерам свойственна погрешность измерения частоты порядка десятых долей процента и заметное потребление мощности от объекта измерения.

От этих недостатков свободны гетеродинные частотомеры, в которых измерение частоты колебаний производится посредством сравнения ее с частотой градуированного гетеродина (рис. 6, *е*). Процесс измерения заключается в изменении частоты гетеродина до приближения ее к измеряемой частоте. Колебания гетеродина

и колебания, частота которых подлежит измерению, поступают на смеситель, и на выходе последнего возникают биения — колебания с частотой, равной разности частоты гетеродина и измеряемой частоты. Напряжение биений подается с выхода смесителя на усилитель низкой частоты и после усиления на головные телефоны. По мере приближения частоты гетеродина к измеряемой частоте их разность уменьшается и прослушиваемый в телефонах тон биений понижается вплоть до их прекращения (до нулевых биений). Возникновение нулевых биений означает, что измеряемая частота практически равна частоте гетеродина, которая определяется по шкале и градуировочным таблицам частотомера.

Для обеспечения высокой точности измерения частоты градуировка гетеродина непосредственно перед измерением корректируется по имеющемуся в частотомере кварцевому калибратору, который на время корректировки подключается к смесителю. Корректировка гетеродина производится путем некоторой подстройки его контура до возникновения нулевых биений между его колебаниями и колебаниями калибратора.

Погрешность измерения частоты гетеродина частотомерами весьма невелика (порядка сотых долей процента и менее), что позволяет производить ответственные измерения, а также поверку менее точных приборов. Помимо основного назначения, гетеродинные частотомеры могут применяться также для градуировки радиоприемников и ее поверки в период эксплуатации и после ремонта или настройки. Для этого сигнал с высокочастотного выхода смесителя подается на антенный вход приемника.

Принцип измерения частоты колебаний по нулевым биениям может быть реализован при наличии измерительного генератора высокой частоты и резонансного волномера, имеющего схему, приведенную на рис. 6, *д*. Связав волномер с объектом измерения и с измерительным генератором, перестраивают частоту последнего до возникновения нулевых биений, регистрируемых с помощью головных телефонов Достоинствами такого варианта применения волномера являются повышенная чувствительность и возможность измерения схемой (рис. 6, *д*) частоты немодулированных колебаний, например частоты задающего генератора передатчика или гетеродиия приемника.

Для измерения резонансной частоты пассивного контура возбуждают в нем вынужденные колебания с помощью измерительного генератора и контролируют их амплитуду по показаниям электронного вольтметра с детекторной головкой-пробником (рис. 7, *а*). Генератор и вольтметр слабо связывают с контуром посредством конденсаторов малой емкости. Изменяя частоту генератора, фиксируют наступление резонанса по максимальным показаниям вольтметра, после чего отсчитывают частоту по шкале генератора. Недостатком данного способа является некоторая расстройка контура, вносимая подключенными к нему приборами, что особенно проявляется в УКВ диапазоне, где емкости колебательных контуров малы. Чтобы избежать расстройки контура, следует подключать измерительный генератор не к контуру, а ко входу того устройства, в котором он установлен (например, радиоприемника). Индикатор резонанса подключается не к контуру, а к выходу устройства. Если в устройстве имеются также другие контуры, то во избежание ошибочной настройки генератора на их частоты они должны быть зашунтированы резисторами.

По схеме, изображенной на рис. 7, *а*, можно производить не только измерение резонансной частоты контура, но и настройку его на требуемую частоту, для чего последняя устанавливается по шкале измерительного генератора и контур путем регулировки его индуктивности или емкости настраивается до максимальных показаний индикатора.

Измерение резонансной частоты контура или другой колебательной системы (резонансной линии, настроенной антенны, кварцевой пластины и др.) возможно также с помощью гетеродинного индикатора резонанса. Гетеродинный индикатор резонанса (ГИР) представляет собой измерительный генератор, снабженный индикатором для контроля его режима. Режим генератора изменяется при связи его контура с колебательной системой, частота которой подлежит измерению. Наибольшее изменение режима происходит при настройке гетеродинного индикатора резонанса на частоту колебательной системы, так как последняя в этом случае поглощает заметную часть энергии, генерируемой прибором.

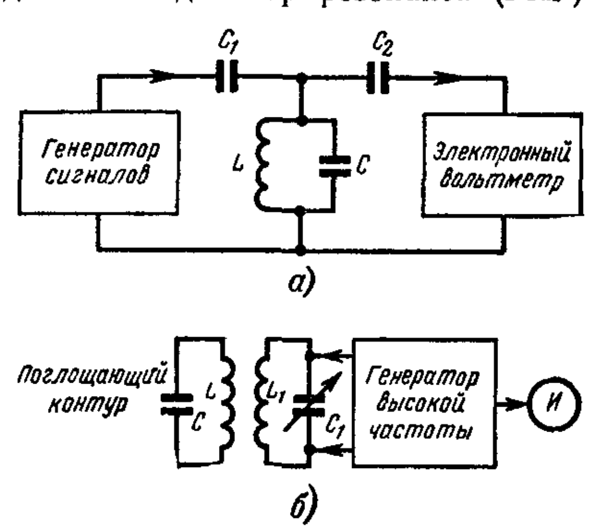


Рис. 7. Измерение резонансной частоты контура.

а — с помощью генератора сигналов и электронного вольтметра; *б* — с помощью гетеродинного индикатора резонанса.

В качестве индикатора изменения режима обычно применяется стрелочный измерительный прибор, однако при отсутствии такого прибора можно использовать электронно-световой индикатор. Существуют схемы, в которых электронно-световой индикатор одновременно выполняет функции генератора высокочастотных колебаний.

В радиолюбительской практике нашли применение гетеродинные индикаторы резонанса, построенные на транзисторах. Преимуществом этих приборов являются малые габариты и высокая экономичность, позволяющая питать их от батарей.

Для измерения с помощью гетеродинного индикатора резонанса частоты колебательного контура (рис. 7, *б*) приближают к нему контур гетеродинного индикатора резонанса и изменяют частоту колебаний последнего до наступления резонанса, который отмечается индикатором. Затем отсчитывают частоту по градуированной шкале настройки прибора.

В используемых радиолюбителями диапазонах длина волны обычно определяется косвенным путем по известной частоте электромагнитных колебаний. Измерив частоту одним из описанных выше методов, можно вычислить соответствующую ей длину волны по формуле

$$\lambda = \frac{300}{f}, \qquad (22)$$

где λ — длина волны, *м*; f — частота колебаний, *Мгц*.

Лишь в диапазоне УКВ при частотах порядка 30 *Мгц* и выше становится возможным прямое измерение длины волны с помощью двухпроводной резонансной линии. Для этого выход источника колебаний, длина волны которых подлежит измерению, например, передатчика или генератора, посредством нескольких витков индуктивно связывают с измерительной двухпроводной линией (рис. 8, *а*). Напряжение между проводниками линии регистрируется индикатором, в качестве которого в простейшем случае применяется маломощная лампа накаливания, а при недостаточной мощности источника — стрелочный прибор с высокочастотным детектором (рис. 8, *б*).

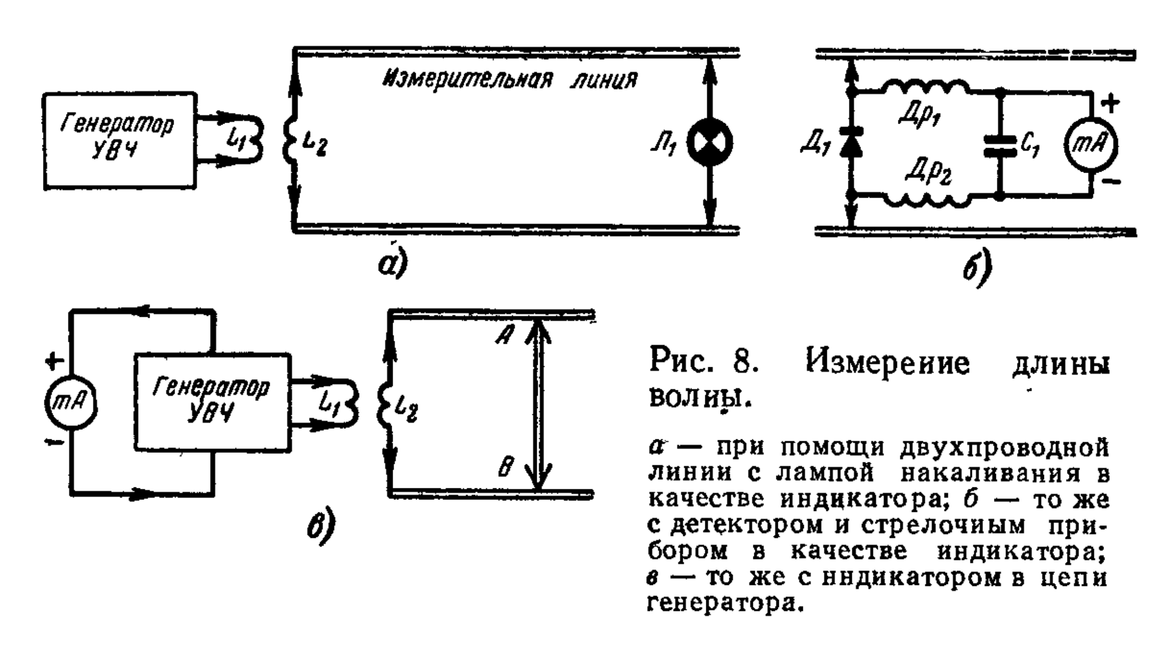


Рис. 8. Измерение длины волны.

а — при помощи двухпроводной линии с лампой накаливания в качестве индикатора; *б* — то же с детектором и стрелочным прибором в качестве индикатора; *в* — то же с индикатором в цепи генератора.

Для измерения длины волны по схеме, изображенной на рис. 8, *а*, следует, передвигая лампу $Л_1$ вдоль линии, найти положения, в которых она накаливается. Затем, взаимно удаляя витки L_1 и L_2, устанавливают настолько слабую связь между источником колебаний и линией, чтобы при перемещении лампы она накаливалась только в определенных точках линии. Расстояние между двумя соседними такими точками равно половине длины волны. Перемещать лампу вдоль линии следует медленно, так как в противном случае она может не успеть накалиться из-за значительной тепловой инерции ее нити.

При измерении длины волны по схеме, изображенной на рис. 8, *б*, линия должна связываться с источником колебаний через разделительные конденсаторы, предотвращающие замыкание постоянной составляющей тока детектора. Индикатор перемещают вдоль линии и находят точки, в которых его показания минимальны. Расстояние между ближайшими точками равно половине длины волны.

При отсутствии подходящего индикатора или нежелательности его перемещения индикация может производиться путем измерения режима источника колебаний. Например, для измерения длины волны передатчика индикатор (миллиамперметр) включают в цепь питания выходного каскада, а вдоль линии перемещают короткозамыкающий мостик, который представляет собой металлическую перемычку, имеющую скользящий контакт с обоими проводниками линии. Расстояние между двумя соседними положениями мостика, которым соответствуют максимальные отклонения стрелки миллиамперметра, равно половине длины волны.

Для практических измерений частоты колебаний и длины волны могут использоваться радиовещательные и связные приемники с градуированными шкалами. Подводимый к приемнику сигнал должен быть по возможности слабым, так как при сильном сигнале не исключена возможность ложных настроек вследствие перегрузки приемника. Рекомендуется перед измерениями проверить градуировку приемника по кварцевому калибратору или, по крайней мере, по измерительному генератору. В случае значительного нарушения градуировки приемник нужно подстроить. Если же по какой-либо причине произвести подстройку приемника невозможно, то при измерениях необходимо вводить соответствующие поправки. Существенным преимуществом этого метода является возможность измерения частоты и длины волны удаленного радиопередатчика. В практике любительской радиосвязи этот метод часто применяется для определения частот, излучаемых передатчиками удаленных корреспондентов.

Следует отметить, что для проверки градуировки приемников могут использоваться не только кварцевые калибраторы, но также и образцовые частоты, передаваемые специальными радиостанциями.

11. Измерение емкости и индуктивности

Измерение емкости и индуктивности представляет интерес для радиолюбителей в связи с тем, что именно этими величинами определяется резонансная частота колебательных контуров радиоустройств. Особенно важно измерение индуктивностей, поскольку контурные катушки, катушки связи и дроссели высокой частоты, как правило, изготовляются любителями самостоятельно по расчетам, а индуктивности катушек могут быть рассчитаны лишь приближенно.

В радиолюбительской практике могут применяться различные методы измерения емкости и индуктивности, причем выбор того или иного метода зависит от значений измеряемых величин и от требуемой точности измерения.

Измерение емкости и индуктивности можно производить методом вольтметра — амперметра на переменном токе. Сущность этого метода заключается в экспериментальном определении емкостного или индуктивного сопротивления с последующим расчетом емкости или индуктивности по соответствующим формулам.

Измерение емкости производится по схеме, изображенной на рис. 9, *а*, и емкость вычисляется по формуле

$$C_x = \frac{I}{2\pi f U}, \qquad (23)$$

где C_x — емкость, *ф*; f — частота, *гц*; I — величина тока, *а*; U — напряжение, *в*.

В качестве источника переменного тока при измерениях может использоваться электрическая сеть, причем для безопасности измерений схема должна питаться через понижающий трансформатор напряжением несколько вольт или десятков вольт.

Пример. Определить емкость конденсатора, если при питании схемы (рис. 9, *а*) напряжением 6,3 *в*, частотой 50 *гц* через него протекает ток 24 *ма*.

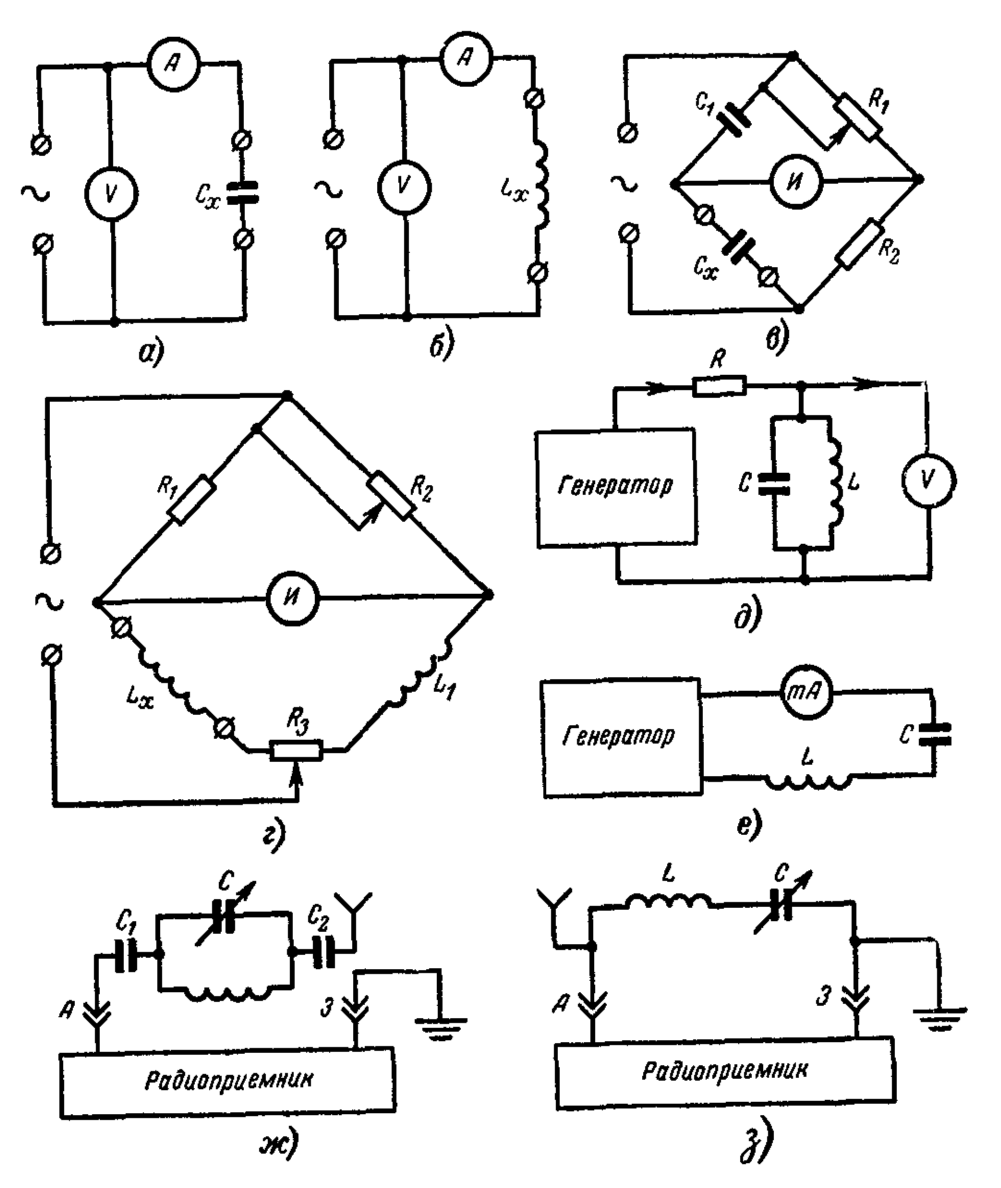


Рис. 9. Измерение емкости и индуктивности.

а, б — методом вольтметра—амперметра; *в, г* — методом моста; *д, е* — с помощью измерительного генератора и индикатора; *ж, з* — с помощью радиоприемника.

Предварительно выражаем величину тока в амперах: 24 *ма* = = 0,024 *а*, после чего находим искомую емкость по формуле (23):

$$C_x = \frac{0{,}024}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 6{,}3} = 0{,}000012\ ф = 12\ мкф.$$

С помощью схемы (рис. 9, *а*), питаемой током частотой 50 *гц*, можно измерять емкости конденсаторов (за исключением электролитических) от десятых долей микрофарады до десятков микрофарад. Перед измерением следует обязательно проверить конденсатор на отсутствие пробоя и заметных утечек.

Индуктивность измеряется методом вольтметра — амперметра по схеме, изображенной на рис. 9, *б*, а ее значение вычисляется по формуле

$$L_x = \frac{U}{2\pi f I}, \tag{24}$$

где L_x — индуктивность, *гн*; f — частота, *гц*; U — напряжение, *в*; I — величина тока, *а*.

Если измеряемая катушка индуктивности имеет значительное активное сопротивление, то более точный результат может быть получен по формуле

$$L_x = \frac{1}{2\pi f}\sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2}, \tag{25}$$

где R — активное сопротивление, *ом*.

Определение активного сопротивления катушки со стальным или пермаллоевым сердечником затруднительно, поскольку оно зависит не только от параметров обмотки, но также и от физических свойств материала сердечника и его геометрических размеров. Что же касается катушек без сердечника, то для низкочастотных токов их активное сопротивление практически равно сопротивлению постоянному току, которое измеряется, например, с помощью омметра. Поэтому измерение индуктивности таких катушек методом вольтметра — амперметра не вызывает затруднений.

Пример. Определить индуктивность катушки без сердечника, если ее сопротивление постоянному току равно 10 *ом*, а при включении катушки в схему (рис. 9, *б*), питающуюся напряжением 6,3 *в* частотой 50 *гц*, по ней протекает ток 0,5 *а*.

Применяем формулу (25), полагая активное сопротивление катушки равным ее сопротивлению постоянному току:

$$L_x = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50}\sqrt{\frac{6{,}3^2}{0{,}5^2} - 10^2} = 0{,}025\ гн = 25\ мгн.$$

При использовании распространенных измерительных приборов погрешность измерения емкости и индуктивности методом вольтметра — амперметра может достигать 5—10% и более. Кроме того, диапазон измеряемых этим методом емкостей и индуктивностей ограничен.

Более совершенными являются мостовые методы измерения емкости и индуктивности, которые реализуются при помощи схем, изображенных на рис. 9, *в, г*.

Мостовая схема измерения емкости (рис. 9, *в*) питается переменным током технической (50 *гц*) или повышенной частоты. Индикатором равновесия моста *И* может быть вольтметр переменного напряжения или головные телефоны. В последнем случае предпочтительнее питать мост переменным током повышенной частоты (порядка 1 000 *гц*) от измерительного генератора. После уравновешивания моста по минимуму показания индикатора отсчитывается величина введенного сопротивления переменного резистора R_1 и измеряемая емкость C_x находится по формуле

$$C_x = \frac{C_1 R_1}{R_2}, \tag{26}$$

где C_1 — известная емкость.

В большинстве случаев мостовые измерители емкости имеют несколько пределов измерения, для чего они снабжаются набором известных емкостей, коммутируемых переключателем.

Особенностью мостовой схемы для измерения индуктивности (рис. 9, *г*) является переменный резистор R_3, служащий для уравновешивания активных сопротивлений плеч моста Уравновешивание моста производится путем поочередного изменения сопротивлеиий перемеиных резисторов R_2 и R_3 до миннмального показаиия индикатора. После этого измеряемая индуктивность L_x определяется по формуле

$$L_x = \frac{L_1 R_1}{R_2}, \quad (27)$$

где L_1 — известная индуктивность.

Мостовые измерители индуктивности могут иметь несколько пределов измереиия, если они содержат несколько переключаемых известных индуктивностей.

Промышленные мосты переменного тока обычно представляют собой униерсальиые приборы для измерения сопротивлений, емкостей и индуктивностей. Погрешности таких приборов не превышают нескольких процентов

В радиолюбительских конструкциях измерительных мостов переменного тока питаиие мостовой схемы обычно осуществляется напряжением частотой 50 *гц* и значительно реже — напряжением повышенной частоты. В качестве индикатора равновесия моста используются головные телефоны, электронно-световой индикатор или стрелочный прибор.

Для измерения емкостей и индуктивностей, величины которых соответствуют радиодиапазону частот, наиболее пригоден резонаисный метод. Измерения производятся с помощью схемы (рис. 9, *д*), состоящей из измерительного генератора с регулируемой частотой, связанного через резистор R_1 или через конденсатор малой емкости с колебательным контуром LC, напряжение на котором измеряется электронным вольтметром с малой входной емкостью. Для измереиия неизвестной емкости C_x оиа соединяется с катушкой известной индуктивности L и образует с ней колебательный контур LC_x. Геиератор перестраивается до возникновения в контуре резонанса, регистрируемого вольтметром. Отсчитав по шкале генератора резонансную частоту, вычисляют искомую емкость, пренебрегая собственной емкостью катушки:

$$C_x = \frac{25\,330}{f^2 L}, \quad (28)$$

где C_x — емкость, *пф*; f — резонансная частота, *Мгц*; L — образцовая индуктивность, *мкгн*.

Относительная погрешность измерения емкости резонансным методом равна:

$$\alpha = \frac{\Delta C_x}{C_x} = 2\frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta L}{L}. \quad (29)$$

Пример. Определить емкость кондеисатора, образующего с индуктивностью 1 *мгн* $\pm 5\%$ колебательный контур, резонансная частота которого равна 350 *кгц* $\pm 2\%$.

Предварительно выражаем индуктивность в микрогенри: 1 *мгн* = = 1 000 *мкгн*, а частоту — в мегагерцах: 350 *кгц* = 0,35 *Мгц*. Затем определяем емкость по формуле (28)

$$C_x = \frac{25\,330}{0{,}35^2 \cdot 1\,000} = 210 \text{ пф}.$$

Относительную погрешность измерения емкости иаходим по формуле (29)

$$\alpha = 2 \cdot 2\% + 5\% = 9\%$$

Измереиие индуктивности производится аналогично, для чего коитур составляется из подлежащей измерению индуктивности L_x и известной емкости C. Величина индуктивности без учета собственной емкости катушки рассчитывается по формуле

$$L_x = \frac{25\,330}{f^2 C}, \quad (30)$$

где L_x — индуктивность, *мкгн*; f — резонансная частота, *Мгц*; C — образцовая емкость, *пф*

Относительная погрешность измерения иидуктивности резонансным методом равна:

$$\alpha = \frac{\Delta L_x}{L_x} = 2\frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta C}{C}. \quad (31)$$

Если применять в качестве известных распространенные конденсаторы с допуском $\pm 5\%$ и генераторы с погрешностью по частоте не хуже 2—2,5%, то относительиая погрешиость измерения индуктивности не превысит 10%. Поскольку в практических схемах радиоаппаратуры предусматривается подстройка катушек индуктивности (подвижные секции катушек, магиитодиэлектрические сердечники и др.), то достигаемая точность измерения приемлема для начальной установки индуктивности, а ее окончательная подгонка может быть произведена при иалаживании устройства, содержащего эту индуктивность

В резонансных схемах измерения емкости и индуктивиости, кроме стрелочных индикаторов резонаиса, применяются также электроино-световые индикаторы Если высокочастотиое напряжеиие на выходе измерительиого геиератора промодулироваио по амплитуде, то в качестве индикатора резонанса могут служить головиые телефоны с полупроводниковым детектором (точечным диодом).

В случае применения измерительиого геиератора с низкоомным выходом целесообразио производить измерения емкости и индуктивности по схеме, изображенной на рис 9, *е* Возиикающий в ней при соответствующей иастройке генератора резонанс отмечается миллиамперметром переменного тока, в качестве которого может быть использован прибор магнитоэлектрической системы, соединенный с двумя точечными полупроводниковыми диодами (см рис. 1, *д*). Преимуществом данного метода измерения является то, что для него не требуется вольтметр с высоким входным сопротивлеиием и малой емкостью, необходнмый в схеме, изображенной на рис. 9, *д*. Кроме того, расстройка колебательного

контура, вносимая измерительными приборами, в схеме, изображенной на рис. 9, *е*, получается значительно меньшей, чем в схеме, изображенной на рис. 9, *д*.

Для приближенного измерения индуктивности резонансным методом при отсутствии измерительного генератора можно воспользоваться в качестве источника возбуждающих контур колебаний сигналом вещательной радиостанции с известной частотой, а в качестве индикатора резонанса — радиоприемником. Измерительные схемы приведены на рис. 9, *ж*, *з*. Сигнал радиостанции поступает от наружной или комнатной антенны. Если приемник имеет магнитную антенну, то при измерениях она должна отключаться. При невозможности отключения магнитной антенны следует расположить приемник так, чтобы прием на магнитную антенну отсутствовал. Колебательный контур образован измеряемой индуктивностью L_x и градуированным конденсатором переменной емкости C.

Подключив к измерительной схеме наружную или комнатную антенну, настраивают приемник на хорошо слышимую радиостанцию, частота которой известна или определяется по шкале настройки приемника, изменяют емкость конденсатора C до значительного ослабления или полного прекращения приема радиостанции. Очевидно, при этом резонансная частота контура L_xC равна частоте радиостанции. Полученные при измерении значения частоты f и емкости C позволяют вычислить искомую индуктивность по формуле (30).

Пример. Определить индуктивность катушки, если при измерении ее по схеме, изображенной на рис. 9, *з*, частота принимаемой радиостанции равна 935 *кгц*, а емкость конденсатора, соответствующая резкому ослаблению приема, равна 250 *пф*.

Выразив частоту в мегагерцах: 935 *кгц* = 0,935 *Мгц*, воспользуемся формулой (30), согласно которой

$$L_x = \frac{25\,330}{0{,}935^2 \cdot 250} = 115 \text{ мкгн.}$$

Схемы, изображенные на рис. 9, *ж* и *з*, позволяют измерять также емкости конденсаторов, если они не превышают максимальной емкости конденсатора C. Для измерения емкости составляют колебательный контур из конденсатора переменной емкости C и катушки, индуктивность которой может быть неизвестна. Подключив антенну, настраивают радиоприемник на станцию и изменяют емкость конденсатора C до ослабления ее слышимости. Предпочтительнее выбирать такую станцию, чтобы ослабление ее приема происходило при возможно большей емкости конденсатора C. После этого подключают параллельно конденсатору C конденсатор, емкость которого подлежит измерению. При этом прием станции возобновляется. Уменьшая емкость конденсатора C, достигают повторного ослабления приема, что соответствует восстановлению первоначальной емкости контура. Очевидно, искомая емкость равна разности емкостей конденсатора C, при которых имело место ослабление приема.

Пример. Определить емкость конденсатора, если до его подключения к схеме (рис. 9, *ж*) ослабление приема радиостанции происходило при емкости конденсатора C, равной 420 *пф*, а после подключения для повторного ослабления приема емкость конденсатора C была уменьшена до 260 *пф*.

Искомая емкость равна:

$$C_x = 420 \text{ пф} - 260 \text{ пф} = 160 \text{ пф.}$$

Возможности измерения емкости и индуктивности с помощью схем, изображенных на рис. 9, *ж*, *з*, примерно одинаковы, однако схема на рис. 9, *з* обладает некоторыми практическими преимуществами по сравнению со схемой на рис. 9, *ж*. Применяемые в последней конденсаторы C_1 и C_2, необходимые для уменьшения расстройки контура, значительно ослабляют сигнал радиостанции, что вынуждает использовать для измерений только сигналы мощных станций. Кроме того, в схеме на рис. 9, *ж* невозможно заземлить ротор конденсатора переменной емкости, вследствие чего требуется его экранирование и применение конструктивных мер для устранения влияния оператора на настройку контура. В схеме, изображенной на рис. 9, *з*, ротор конденсатора C может быть заземлен, что более удобно в эксплуатационном отношении.

12. Измерение параметров радиоламп

Работоспособность радиолампы определяется целостью ее подогревателя (нити накала), отсутствием обрывов и замыканий в цепях электродов, наличием достаточной электронной эмиссии катода, а для приемно-усилительных и генераторных ламп — также необходимой величиной крутизны сеточной характеристики. Для определения исправности радиолампы производят проверку соответствия ее параметров установленным для каждого типа ламп нормам и условиям с помощью испытательных схем.

Целость подогревателя (нити накала) лампы проверяется миллиамперметром, включенным в цепь подогревателя последовательно с ограничительным резистором R_1 (рис. 10, *а*).

Ток эмиссии измеряется по схеме, изображенной на рис. 10, *б*. Напряжение питания составляет несколько десятков вольт, оно может быть постоянным или переменным. В последнем случае миллиамперметр должен блокироваться конденсатором большой емкости, устраняющим вибрацию его стрелки под воздействием пульсаций выпрямленного лампой тока. Номинальные величины тока эмиссии для ламп различных типов могут быть определены путем испытания заведомо исправных ламп.

Для обнаружения обрывов в цепях электродов ламп служит схема, представленная на рис. 10, *в*. С помощью выключателей электроды поочередно присоединяются к миллиамперметру, который показывает при этом ток присоединенного электрода. Если при замыкании одного из выключателей миллиамперметр не регистрирует тока, то это является признаком обрыва в цепи соответствующего электрода.

Эта же схема позволяет проверить отсутствие коротких замыканий между электродами лампы. Для проверки замыкают все выключатели, и миллиамперметр показывает суммарный ток всех электродов. При размыкании одного из выключателей показания миллиамперметра должны уменьшаться на величину тока соответствующего электрода. Если этого не происходит, то данный электрод

замкнут с другим электродом (за исключением катода) или с несколькими электродами.

Важным параметром, характеризующим эксплуатационную пригодиость радиолампы, является крутизна ее сеточной характеристики. Крутизной сеточной характеристики называется отношеиие приращения анодного тока к вызвавшему его приращению напряжения на управляющей сетке при постоянном анодном напряжении.

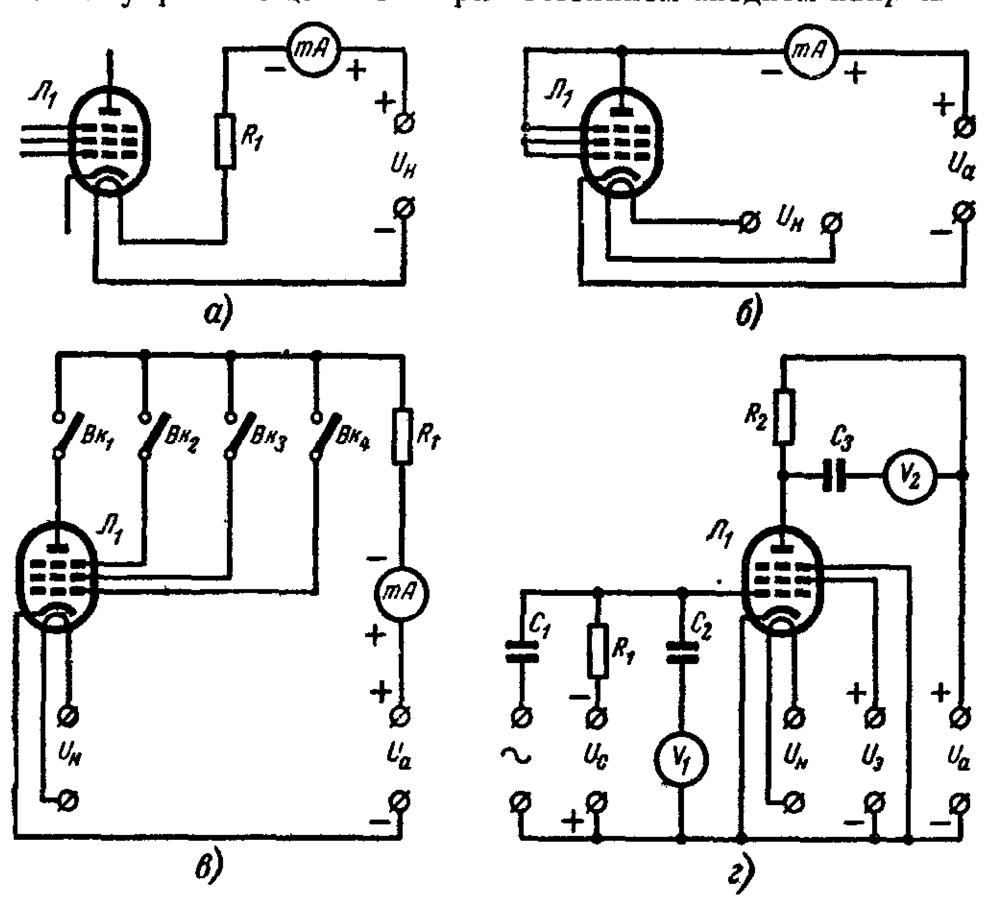


Рис. 10. Измерение параметров радиоламп.

а — проверка целости подогревателя (нити накала); б — измерение тока эмиссии; в — проверка на отсутствие обрывов и замыканий в цепях электродов; г — измерение крутизны сеточной характеристики.

Измерение крутизны можно производить, прикладывая к управляющей сетке лампы переменное напряжение и измеряя переменную составляющую анодного тока. Измерение крутизны этим методом производится с помощью схемы, изображенной на рис. 10, г. Испытываемая лампа работает в усилительиом режиме при номинальных напряжениях на ее электродах. К управляющей сетке лампы приложено переменное напряжение, измеряемое вольтметром V_1, а переменная составляющая анодиого тока определяется с помощью вольтметра V_2, измеряющего переменное напряжение на известиом сопротивлении анодной нагрузки R_2. Очевидно, переменная составляющая анодного тока лампы равна $i_a = u_2/R_2$, и крутизна сеточной характеристики равиа отношению переменной составляющей анодного тока к переменному напряжению на управляющей сетке

$$S = \frac{i_a}{u_1} = \frac{u_2}{R_2 u_1}, \qquad (32)$$

где S — крутизна характеристики, *ма/в*; u_1 — показания вольтметра V_1, *в*; u_2 — показания вольтметра V_2, *в*; R_2 — сопротивление анодной нагрузки, *ком*.

Сопротивление резистора R_2 должно быть малым для того, чтобы анодное напряжение лампы сохранялось практически неизменным.

Для упрощения измерительной схемы величина переменного напряжения на управляющей сетке обычно фиксируется, благодаря чему отпадает необходимость в вольтметре V_1, а шкала вольтметра V_2 может быть проградуирована в единицах крутизны.

Пример. Определить крутизну сеточной характеристики радиолампы, если при измерении ее по схеме на рис. 10, *г* к управляющей сетке приложено переменное напряжение 0,25 *в*, а переменное напряжение, возникающее на сопротивлении нагрузки 0,45 *ком*, равно 0,5 *в*.

Применяя формулу (32), получаем:

$$S = \frac{0,5}{0,45 \cdot 0,25} = 4,4 \text{ ма/в}.$$

Испытатель радиоламп представляет собой устройство, позволяющее производить все описанные выше виды проверки ламп или часть из них. В схему испытателя входят источник необходимых напряжеиий (трансформатор с секционированиыми обмотками), стрелочный измерительный прибор с шунтами и добавочными резисторами, а также коммутирующие элементы. Обычно испытатель радиоламп содержит набор ламповых панелей, соответствующих различным типам цоколей, и переключатели, с помощью которых электроды испытываемых ламп присоединяются к схеме испытателя. В промышленных конструкциях испытателей радиоламп роль такого переключателя выполняют штепсели, вставляемые в гнездовую панель прибора через отверстия накладываемых на нее перфокарт, каждая из которых соответствует определенному типу испытываемой радиолампы. В любительских конструкциях из-за трудности самостоятельиого изготовления штепсельного коммутатора используются галетные переключатели или тумблеры.

Испытатели радиоламп позволяют осуществлять лишь ориентировочную проверку их годности. Вообще же следует иметь в виду, что условиый режим испытания, как правило, значительно отличается от реальных режимов радиоламп в коикретных схемах, где они выполняют различные функции. Напряжения на электродах ламп и токи в их цепях могут принимать разные значения в зависимости от специфики схемы, в которой они работают. Поэтому результаты испытания радиолампы не всегда позволяют судить о качестве ее работы в том или ином устройстве.

13. Измерение параметров транзисторов

Важнейшими параметрами транзисторов являются: обратный ток коллектора, начальный ток коллектора, коэффициент усилеиия по току в схеме с общим эмиттером и коэффициент усиления по току в схеме с общей базой.

Измерение обратного тока коллектора $I_{\text{ко}}$ производится по схемам на рис. 11, *а* для транзисторов типа *p-n-p* и на рис. 11, *б* для транзисторов типа *n-p-n*. Вывод эмиттера остается свободным. При комнатной температуре обратный ток коллектора маломощных транзисторов составляет несколько микроампер, причем у кремниевых транзисторов он меньше, чем у германиевых.

Начальный ток коллектора $I_{\text{к. н}}$ измеряется по схемам на рис. 11, *в* для транзисторов типа *p-n-p* и на рис. 11, *г* для транзисторов типа *n-p-n*. При измерении начального тока между базой

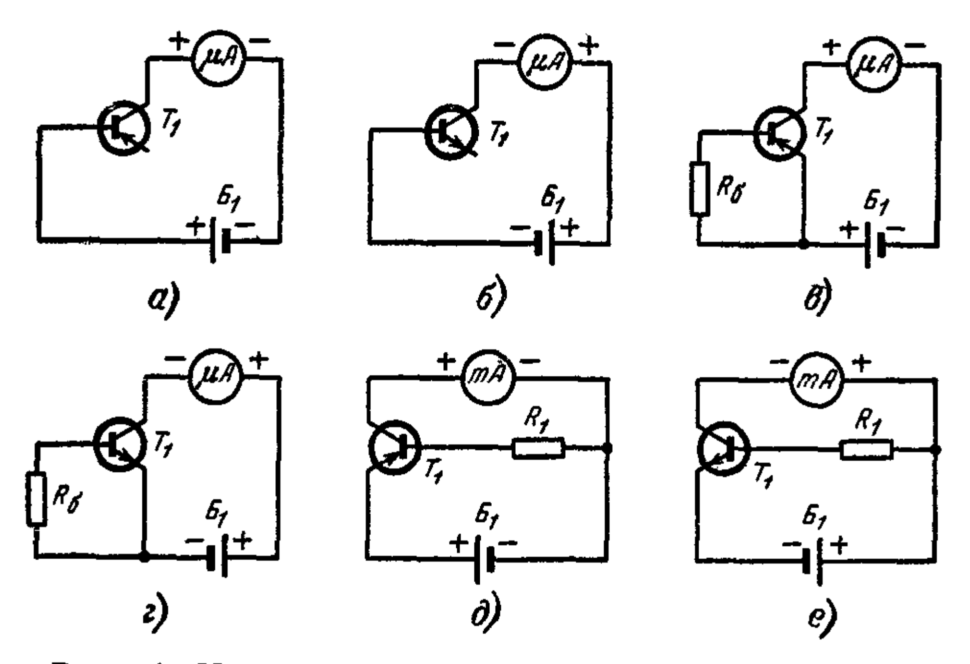


Рис. 11. Измерение параметров транзисторов.

а, б — измерение обратного тока коллектора; *в, г* — измерение начального тока коллектора; *д, е* — измерение коэффициента усиления по току в схеме с общим эмиттером.

и эмиттером транзистора включается резистор $R_{\text{б}}$, сопротивление которого для маломощных транзисторов лежит в пределах 500—1 000 *ом*, а для мощных — в пределах 0—2 *ом*. При комнатной температуре начальные токи маломощных транзисторов составляют десятки микроампер.

В практических схемах измерения $I_{\text{ко}}$ и $I_{\text{к. н}}$ последовательно с микроамперметром включается резистор, ограничивающий до допустимой величины ток измерительной цепи в случае пробоя переходов испытываемого транзистора.

Коэффициентом усиления по току в схеме с общим эмиттером В называется отношение

$$\text{B} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}}, \tag{33}$$

где $\Delta I_{\text{б}}$ — приращение тока базы; $\Delta I_{\text{к}}$ — соответствующее ему приращение тока коллектора.

При характерных для большинства эксплуатационных режимов малых токах коллектора отношение приращений токов $\Delta I_{\text{к}}/\Delta I_{\text{б}}$ может быть приближенно заменено отношением этих токов $I_{\text{к}}/I_{\text{б}}$. На этом принципе основано измерение коэффициента усиления в схеме с общим эмиттером В для транзисторов типа *p-n-p* (рис. 11, *д*) и типа *n-p-n* (рис. 11, *е*).

Ток базы испытываемого транзистора зависит от сопротивления резистора R_1 в ее цепи и напряжения питания схемы. Поскольку прямое сопротивление эмиттерного перехода транзистора пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлением резистора R_1, ток базы равен $I_{\text{б}} = U/R_1$ и коэффициент усиления транзистора В определяется по формуле

$$\text{B} = \frac{I_{\text{к}}}{I_{\text{б}}} = \frac{R_1 I_{\text{к}}}{U}, \tag{34}$$

где R_1 — сопротивление в цепи базы, *ком*; $I_{\text{к}}$ — ток коллектора, *ма*; U — напряжение источника питания, *в*.

Как следует из выражения (34), при фиксированном токе базы коэффициент усиления транзистора в схеме в общим эмиттером прямо пропорционален показаниям миллиамперметра, включенного в цепь его коллектора. Это позволяет проградуировать шкалу миллиамперметра в единицах коэффициента усиления, причем предел его измерения зависит от выбранной величины R_1. Благодаря этому прибор может быть сделан многопредельным, если ввести в его схему переключатель резисторов, сопротивления которых должны соответствовать устанавливаемым пределам измерения.

Пример. Определить коэффициент усиления по току транзистора, если при включении его по схеме на рис. 11, *д* сопротивление резистора в цепи базы равно 450 *ком*, напряжение питания равно 4,5 *в* и показание миллиамперметра 0,6 *ма*.

Коэффициент усиления находим по формуле (34)

$$\text{B} = \frac{450 \cdot 0{,}6}{4{,}5} = 60.$$

Если коэффициент усиления транзистора в схеме с общим эмиттером В известен, то его коэффициент усиления в схеме с общей базой α может быть вычислен по формуле

$$\alpha = \frac{\text{B}}{1 + \text{B}}. \tag{35}$$

Пример. Вычислить коэффициент усиления транзистора в схеме с общей базой, если его коэффициент усиления в схеме с общим эмиттером равен 20.

По формуле (35) находим:

$$\alpha = \frac{20}{1 + 20} = 0{,}95.$$

Если же известна величина коэффициента усиления в схеме с общей базой α, то коэффициент усиления в схеме с общим эмиттером В определяется по формуле

$$\text{B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}. \tag{36}$$

Пример. Определить коэффициент усиления транзистора в схеме с общим эмиттером, если его коэффициент усиления в схеме с общей базой равен 0,97.

По формуле (36) находим:

$$B = \frac{0,97}{1 - 0,97} = 32.$$

В некоторых случаях представляет интерес коэффициент усиления в схеме с общим коллектором K, связанный с коэффициентом усиления в схеме с общей базой соотношением

$$K = \frac{1}{1 - \alpha}. \qquad (37)$$

Из сопоставления формул (36) и (37) следует, что для транзисторов с большим коэффициентом усиления в схеме с общей базой, для которых $\alpha \approx 1$, справедливо приближенное равенство $K \approx B$. Это позволяет заменить измерение B измерением K, что в ряде случаев дает возможность несколько упростить практические схемы испытателей транзисторов.

Измерение параметров транзисторов на постоянном токе технически несложно, однако они дают лишь ориентировочное представление о работе транзисторов в реальных радиосхемах, в которых транзисторы выполняют функции усилителей, преобразователей или генераторов переменного тока.

Существуют измерительные приборы, с помощью которых определяют параметры транзисторов на переменном токе, в том числе: коэффициент усиления на различных частотах, предельную частоту усиления, предельную частоту генерации и др. Измерение коэффициента усиления транзистора на переменном токе обычно производится на низких частотах (50—1 000 *гц*) в схеме с общей базой. Измерение этого параметра на высоких частотах затруднительно, так как для этого требуется сложная аппаратура. Поэтому в радиолюбительской практике обычно ограничиваются измерением коэффициента усиления на постоянном токе и реже — на низкой частоте.

Важнейшими частотными характеристиками транзистора являются предельная частота усиления и предельная частота генерации. Предельной частотой усиления транзистора называется частота, при которой его коэффициент усиления в схеме с общей базой уменьшается до 0,7 от коэффициента усиления в схеме с общей базой на низкой частоте. Предельной частотой генерации называется максимальная частота, на которой еще сохраняется работоспособность транзистора в схеме самовозбуждающегося генератора с общей базой.

Измерение предельной частоты усиления транзистора требует сложной измерительной аппаратуры и поэтому малодоступно для радиолюбителей. Что же касается определения предельной частоты генерации, то она может быть измерена при наличии градуированного радиоприемника соответствующего диапазона. В радиолюбительской практике потребность в измерении предельной частоты генерации может возникнуть при подборе наилучших (в отношении частотных параметров) экземпляров транзисторов для применения в транзисторных телевизорах, УКВ аппаратуре и в измерительных приборах. Для измерения предельной частоты генерации на испытываемом транзисторе собирается самовозбуждающийся генератор по схеме с общей базой и его сигнал прослушивается на достаточно чувствительном приемнике. Изменяя параметры колебательного контура генератора и регулируя величину положительной обратной связи, постепенно повышают частоту генерации до тех пор, пока она не прекратится. Максимальная частота, отсчитанная по шкале настройки контрольного приемника, является предельной частотой генерации для данного экземпляра транзистора.

Результаты измерения параметров транзисторов зависят от величины напряжения источников питания измерительного прибора. Во избежание значительных погрешностей измерения эти напряжения должны проверяться перед каждой серией измерений. Контроль напряжения может осуществляться стрелочным прибором, имеющимся в схеме измерителя параметров транзисторов, или внешним вольтметром.

Глава третья

ВЫПОЛНЕНИЕ РАДИОИЗМЕРЕНИЙ

14. Планирование и методика измерений

Успешное проведение измерений и получение пригодных для дальнейшего использования результатов возможны только при правильном выборе последовательности измерений, определении величин, подлежащих измерению, и подборе соответствующих измерительных приборов. Приступая к выполнению измерений, необходимо заранее четко представлять себе их цель и пути ее достижения. Бессистемные измерения не дают ясной картины происходящих в исследуемом устройстве процессов и не способствуют экономии времени и труда, необходимых для налаживания и ремонта радиоаппаратуры.

Ввиду значительного разнообразия применяемых в радиоаппаратуре схем как с точки зрения их функциональных свойств, так и технического выполнения невозможно привести подробные рекомендации по оптимальному планированию измерений для каждого конкретного случая. Обычно к заключению о необходимости тех или иных измерений приходят на основании анализа работы устройства и результатов предыдущих измерений применительно к особенностям исследуемой схемы Некоторые указания по проведению измерений при налаживании радиолюбительских конструкций обычно приводятся в их описаниях.

Рассмотрим в качестве примера планирование измерений с целью определения причин искажения сигнала в выходном каскаде лампового усилителя низкой частоты, собранного по схеме, приведенной на рис. 12.

Прежде всего следует убедиться в наличии неискаженного сигнала на выходе предыдущего каскада. Это можно сделать, прослушивая сигнал на головные телефоны, подключаемые через разделительный конденсатор между анодом лампы предыдущего каскада и отрицательным полюсом источника питания. Если будет установлено, что телефоны воспроизводят неискаженный звук, то причина искажений действительно заключается в неисправности выходного каскада.

Возможной причиной искажений является неисправность выходной лампы или нарушение ее электрического режима. Как известно, лампа выходного каскада работает при больших колебаниях анодного тока, пропорциональных изменениям амплитуды усиливаемого сигнала. При частичной потере лампой эмиссии или ухудшении вакуума пропорциональность нарушается, что и проявляется в виде искажений воспроизводимого звука, особенно при большой громкости.

Для проверки качества выходной лампы не обязательно применять испытатель радиоламп. В любительских условиях можно проверить лампу, заменяя ее заведомо исправной, либо испытать ее в

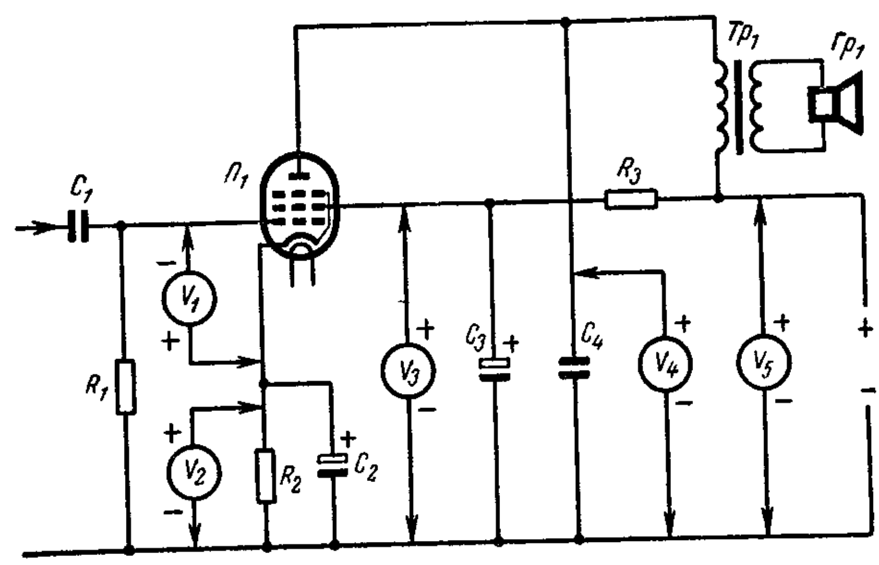


Рис. 12. Измерение напряжений в схеме усилителя низкой частоты.

аналогичном исправном усилителе. Если лампа окажется доброкачественной, то вероятная причина искажений заключается в нарушении режима выходного каскада.

На этом этапе исследования усилителя необходимо перейти к измерениям, так как только они могут помочь в определении неисправности. Для проверки режима следует прежде всего измерить напряжения на электродах лампы и сравнить их с номинальными. Промышленные радиоустройства обычно снабжаются инструкцией с таблицами режимов или картами напряжений, на которых указаны напряжения на электродах ламп. Иногда эти напряжения приводятся непосредственно на схеме устройства. При отсутствии заводского описания можно найти сведения о режимах в соответствующих справочниках. Режимы ламп в радиолюбительских конструкциях нередко значительно отличаются от типовых, применяемых в промышленной аппаратуре, что следует иметь в виду при налаживании схем, построенных по описаниям, которые приводятся в литературе.

Удовлетворительная точность измерения напряжений на электродах лампы достигается, если при подключениях вольтметра напряжения изменяются не более чем на 2—5% Это условие выполняется, если сопротивление вольтметра в 20—50 раз больше сопротивления того участка схемы, на котором измеряется напряжение. В рассматриваемом случае для измерения напряжения питания усилителя по схеме, изображенной на рис 12 (вольтметр V_5), анодного напряжения (вольтметр V_4) и напряжения на экранной сетке (вольтметр V_3) достаточно иметь вольтметр с сопротивлением 200—500 *ком*, подключаемый поочередно к соответствующим точкам схемы Учитывая, что напряжения большинства источников питания анодно-экранных цепей приемно-усилительных ламп не превышают 200—300 *в*, можно прийти к заключению, что входное сопротивление вольтметра должно быть не менее 1 *ком/в*. Следовательно, в качестве стрелочного измерительного прибора в вольтметре, предназначенном для измерения анодного и экранного напряжений, может применяться относительно малочувствительный миллиамперметр, имеющий ток полного отклонения 1 *ма*.

Иначе обстоит дело с измерением напряжения смещения на управляющей сетке лампы, так как в цепь сетки включен высокоомный резистор R_1 (0,2—0,5 *Мом* и более). При этих условиях сопротивление вольтметра V_1 должно быть, по крайней мере, порядка 5 *Мом*. Поскольку напряжение смещения на управляющей сетке выходной лампы редко превосходит —10 *в*, можно полагать требуемое входное сопротивление вольтметра равным 500 *ком/в*, что соответствует току полного отклонения измерительного прибора 2 *мка*. Ввиду отсутствия стрелочных измерительных приборов столь высокой чувствительности измерение напряжения между катодом и сеткой лампы с помощью обычного вольтметра оказывается невозможным. Поэтому в качестве V_1 может быть использован только электронный (ламповый или транзисторный) вольтметр с высоким входным сопротивлением. При отсутствии такого прибора приходится ограничиться измерением напряжения на выходах резистора R_2, который предназначен для выделения на нем напряжения смещения за счет протекающего по нему катодного тока лампы. Сопротивление этого резистора обычно не превышает 0,5 *ком*, благодаря чему в качестве V_2 можно применять вольтметр с пределом измерения 10 *в* и сопротивлением порядка 10 *ком*. Входное сопротивление такого вольтметра 1 *ком/в*, т. е. в нем может применяться стрелочный прибор с током полного отклонения 1 *ма*.

Таким образом, измерение напряжений на аноде, экранной сетке и катоде лампы, а также напряжения питания каскада по схеме на рис. 12 возможно вольтметром с входным сопротивлением 1 *ком/в*. По-видимому, вольтметр с входным сопротивлением, по крайней мере, 1 *ком/в* является совершенно необходимым прибором, без которого исследование схемы окажется невозможным. Допустимую погрешность вольтметра можно оценить, исходя из того, что работоспособность большинства радиоустройств, в том числе и выходных усилителей низкой частоты, сохраняется при отклонении электрических режимов на $\pm 10\%$ от номинальных значений. Возможное изменение режима в указанных пределах обусловлено колебаниями питающих напряжений, разбросом параметров деталей и электронных приборов, зависимостью их от температуры, а также старением в процессе эксплуатации и не является признаком неисправности устройства. Для получения достоверной информации о состоянии проверяемой схемы следует измерить напряжения с погрешностью, не превышающей допустимого отклонения их от номинальных (т. е. 10%). Учитывая влияние вольтметра на режим цепи, к которой он присоединяется, целесообразно уменьшить погрешность измерения на величину, соответствующую относительному изменению режима при подключении вольтметра (т. е. 2—5%). Следовательно,

для измерения режима усилителя пригоден вольтметр, имеющий относительную погрешность 5% или менее.

Кроме вольтметра, для проверки исправности отдельных деталей усилителя потребуется омметр с верхним пределом измерения 0,2—0,5 *Мом* (соответственно сопротивлению резистора R_1). Относительная погрешность омметра может быть сравнительно большой (порядка 10%), поскольку действительные значения сопротивлений резисторов и обмоток трансформатора могут отличаться от номинальных на 10—20%.

Необходимые для измерений вольтметр и омметр обычно конструктивно объединяются в универсальный прибор, который в большинстве случаев содержит также миллиамперметр. Приведенные выше соображения определяют основные требования к этому прибору: возможность измерения напряжений в пределах 0—10—300 *в* с погрешностью не более 5% при входном сопротивлении не менее 1 *ком/в*; возможность измерения сопротивлений до 0,2—0,5 *Мом* с погрешностью порядка 10%.

В качестве такого прибора может быть использован любой авометр промышленного производства или же самодельный, изготовленный на базе стрелочного прибора с током полного отклонения не более 1 *ма*.

Наметим план проверки выходного каскада усилителя низкой частоты (рис. 12) и обнаружения причин его неисправности. Последовательность проведения измерений, их возможные результаты и причины неисправностей приведены в табл. 3. Как видно из таблицы, программа измерений позволяет в конечном итоге обнаружить неисправности и дефекты, могущие иметь место в схеме усилителя, хотя для этого и требуются многочисленные измерения.

В табл. 3, наряду с другими неисправностями, рассматриваются и такие, которые связаны с отклонениями от нормы токов в цепях электродов лампы. Возможные способы обнаружения этих неисправностей указаны в таблице, однако в некоторых случаях, особенно при невозможности предварительной проверки лампы, приходится, кроме напряжений на ее электродах, измерять также их токи.

Измерения токов производятся с помощью миллиамперметра, включаемого последовательно в цепь соответствующего электрода (рис. 13). Поскольку при этом приходится разрывать цепь электрода, а затем восстанавливать ее, что сопряжено с пайкой, по возможности стремятся определять токи электродов косвенным методом. Для этого измеряют падение напряжения на резисторе, включенном последовательно в цепь электрода, и делят его на сопротивление резистора. Например, ток экранной сетки равен частному от деления измеренного вольтметром V_3 напряжения на выводах резистора R_3 на его сопротивление, которое указано на резисторе или может быть измерено омметром. Аналогичным способом находятся и токи других электродов. При этом катодный ток должен равняться сумме токов других электродов, что может быть использовано для контроля правильности измерений.

Из рассмотренного выше примера следует, что определение неисправностей в схеме усилителя требует преимущественно измерения напряжений, сопротивлений и значительно реже токов. Преимущественное измерение напряжений имеет место также при проверке и налаживании других каскадов радиоаппаратуры.

Планирование и проведение измерений требуют учета технических характеристик измерительных приборов и критической оценки

применяемой методики измерения. Нельзя забывать о том, что формально правильно выполненные измерения при пренебрежении оценкой их погрешностей и влияния различных побочных факторов могут привести к недостоверным и даже абсурдным результатам.

Значительные погрешности могут возникать при измерении высокочастотных напряжений, а в некоторых случаях результат измерений вообще недостоверен. Так, например, при измерении напряжения на колебательном контуре УКВ диапазона, имеющем емкость порядка 20 *пф*, прямое присоединение к нему выносного пробника лампового вольтметра с входной емкостью 5 *пф* вызовет настолько значительную расстройку контура, что резонанс не будет

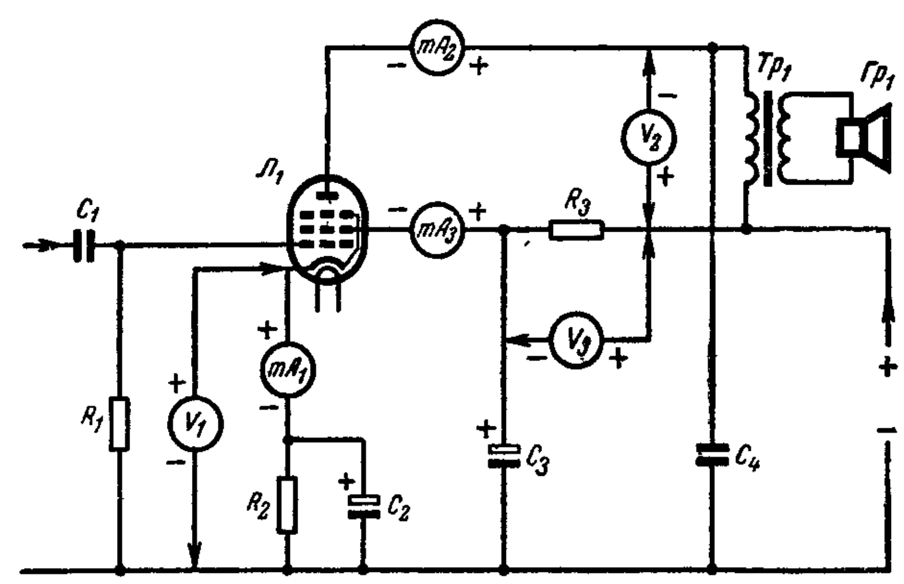


Рис. 13. Измерение токов в схеме усилителя низкой частоты.

иметь места и вольтметр покажет заниженное напряжение. В другом случае проводники, соединяющие выносной пробник с контуром, могут вызвать положительную обратную связь и даже генерацию исследуемого устройства. При этом показания вольтметра могут превысить нормальное напряжение на контуре во много раз. Таким образом, при измерении напряжений в высокочастотных цепях возможно появление нежелательных эффектов, связанных с расстройкой колебательных контуров или возникновением паразитных связей.

Многие из возможных ошибок при измерениях удается предотвратить, если выполнению измерений предшествует анализ явлений, вызываемых подключением к радиоустройству того или иного измерительного прибора, и оценка его пригодности для данного измерения. Если такая предусмотрительность будет проявляться, то даже неожиданные результаты измерений не введут радиолюбителя в заблуждение, а послужат сигналом о неправильном выборе измерительного прибора или метода измерения.

15. Обработка результатов измерений

Для проверки и налаживания радиоаппаратуры с минимальными затратами времени и труда измерения должны производиться с обязательной регистрацией их результатов и их анализом, что позволяет наметить пути дальнейшей работы (способы устра-

Таблица 3

Порядок нахождения неисправностей в усилителе низкой частоты (схема на рис. 12)

Измеряемая величина	Результат измерения	Возможная причина	Конкретная неисправность	Способ проверки
1. Напряжение на аноде лампы	а) Нормальное	—	—	—
	б) Завышенное	Уменьшенный анодный ток	Завышено отрицательное смещение на управляющей сетке	Измерить напряжение на катоде (см. п. 3)
		Уменьшенное сопротивление анодной нагрузки	Замыкание части витков первичной обмотки трансформатора $Тр_1$	Измерить сопротивление первичной обмотки трансформатора $Тр_1$
		Увеличенное сопротивление в цепи катода (см. п. 3, б)	Дефект или перегорание резистора R_2	Измерить сопротивление резистора R_2
		Заниженное напряжение на экранной сетке (см. п. 2, в)	Увеличено сопротивление резистора R_3	Измерить сопротивление резистора R_3
			Утечка конденсатора C_3	Измерить сопротивление изоляции конденсатора C_3
		Отсутствие напряжения на экранной сетке (см. п. 2, г)	Дефект или перегорание резистора R_3	Измерить сопротивление резистора R_3
			Пробой конденсатора C_3	Измерить сопротивление изоляции конденсатора C_3
	в) заниженное	Увеличенный анодный ток	Занижено или отсутствует отрицательное смещение на управляющей сетке	Измерить напряжение на катоде (см. п. 3)
		Увеличенное напряжение на экранной сетке (см. п. 2, б)	Уменьшено сопротивление резистора R_3	Измерить сопротивление резистора R_3
	г) Отсутствует	Короткое замыкание анода на шасси	Пробой конденсатора C_4	Измерить сопротивление изоляции C_4
		Отсутствие анодного тока	Обрыв первичной обмотки трансформатора $Тр_1$	Измерить сопротивление первичной обмотки $Тр_1$
2. Напряжение на экранной сетке лампы	а) Нормальное	—	—	—
	б) Завышенное	Уменьшенный ток экранной сетки	Увеличено отрицательное смещение на управляющей сетке	Измерить напряжение на катоде (см. п. 3)
		Уменьшенное падение напряжения на резисторе R_3	Уменьшение сопротивления резистора R_3	Измерить сопротивление резистора R_3
	в) Заниженное	Увеличенный ток экранной сетки	Занижено или отсутствует отрицательное смещение на управляющей сетке	Измерить напряжение на катоде (см. п. 3)
		Увеличенное падение напряжения на резисторе R_3	Дефект или изменение сопротивления резистора R_3	Измерить сопротивление резистора R_3
	г) Отсутствует	Обрыв в цепи экранной сетки	Перегорание резистора R_3	Измерить сопротивление резистора R_3
		Замыкание экранной сетки на шасси	Пробой конденсатора C_3	Измерить сопротивление изоляции C_3

Продолжение

Измеряемая величина	Результат измерения	Возможная причина	Конкретная неисправность	Способ проверки
3. Напряжение на катоде лампы	а) Нормальное	—	—	—
	б) Завышенное	Увеличенное сопротивление в цепи катода	Дефект или изменение сопротивления резистора R_2	Измерить сопротивление резистора R_2
		Увеличенный анодный ток из-за недостаточного отрицательного смещения на управляющей сетке	Утечка или пробой конденсатора C_1	Повторить измерение при отключенном конденсаторе C_1; измерить сопротивление изоляции C_1
		Обрыв в цепи управляющей сетки	Дефект или изменение сопротивления резистора R_1	Повторить измерение при замене резистора R_1 исправным, измерить сопротивление резистора R_1
	в) Заниженное	Уменьшение сопротивления в цепи катода	Дефект или изменение сопротивления резистора R_2	Измерить сопротивление резистора R_2
			Утечка конденсатора C_2	Измерить сопротивление изоляции C_2
	г) Отсутствует	Замыкание катода на шасси	Дефект или изменение сопротивления резистора R_2	Измерить сопротивление резистора R_2
			Пробой конденсатора C_2	Измерить сопротивление изоляции C_2

нения неисправности, методы регулирования и т. д.). По мере исследования радиоустройства часть возможных версий относительно причин его неисправности отпадает, а другие — подтверждаются, и в конце концов становится возможным определение причины неудовлетворительной работы устройства и ее устранение.

В большинстве случаев план проведения измерений не оформляется, но начинающим любителям можно рекомендовать ведение записей с указанием последовательности выполняемых измерений, их результатов и предполагаемых причин неудовлетворительной работы ремонтируемого или налаживаемого радиоустройства. Удобно вести записи в форме таблицы, подобной приведенной выше (*табл.* 3). Такие записи, во-первых, способствуют развитию у любителя умения логически анализировать явления и процессы в радиосхемах, а во-вторых, могут пригодиться впоследствии в аналогичных случаях.

При измерении электрического режима схем целесообразно составлять таблицы, содержащие результаты измерений в той последовательности, в которой они производились. Такие таблицы позволяют, в частности, оценить изменения, происшедшие в схеме после замены деталей или других элементов при ее налаживании.

Прямые измерения нужно производить с учетом погрешности применяемых приборов, которая не должна быть больше величины, допустимой в том или ином конкретном случае. Получение результатов косвенных измерений сопряжено с вычислениями, причем точность результата зависит от точности исходных данных и не может превышать ее. Точность же исходных данных, получаемых при прямых измерениях, ограничена погрешностями измерительных приборов, в зависимости от которых находится и погрешность результата косвенных измерений. Формулы для определения погрешности результатов некоторых косвенных измерений приведены в предыдущей главе.

Результат косвенных измерений получается после выполнения математических действий с исходными данными, которые выражаются приближенными числами. Для облегчения вычислений и сохранения достаточной точности результатов рекомендуется придерживаться следующих правил приближенных вычислений (действий с приближенными числами):

1. При сложении и вычитании приближенных чисел в результате следует сохранять столько десятичных знаков (цифр после запятой), сколько их имеет приближенное данное с наименьшим числом десятичных знаков.

Пример. Вычислить емкость колебательного контура УКВ диапазона, в которую входят емкость конденсатора 22 *пф*, собственная емкость катушки 1,8 *пф* и входная емкость лампы 1,38 *пф*:

$$C = 22\ пф + 1{,}8\ пф + 1{,}38\ пф = 25\ пф.$$

2. При умножении и делении в результате следует сохранять столько значащих цифр (всех верных цифр, кроме нулей, стоящих впереди числа), сколько их имеет приближенное данное с наименьшим числом значащих цифр.

Пример. Вычислить величину тока через сопротивление 150 *ком*, к которому приложено напряжение 125 *в*:

$$I = \frac{125\ в}{150\ ком} = 0{,}83\ ма.$$

3. При возведении в степень в результате следует сохранять столько значащих цифр, сколько их имеет возводимое в степень приближенное число

Пример. Вычислить площадь поперечного сечения сердечника трансформатора, набранного из пластин УШ-12 при толщине пакета 12 *мм*:

$$S = 12\ мм \cdot 12\ мм = 12^2\ мм^2 = 140\ мм^2 = 1{,}4\ см^2.$$

4. При извлечении корня в результате следует брать столько значащих цифр, сколько их имеет приближенное значение подкоренного числа.

Пример. Вычислить длину стороны поперечного сечения квадратного сердечника, площадь которого приближенно равна 2,7 *см*²:

$$a = \sqrt{2{,}7\ см^2} = \sqrt{2{,}7}\ см = 1{,}6\ см = 16\ мм.$$

5. Во всех промежуточных результатах следует сохранять на одну цифру больше, чем рекомендуют предыдущие правила. В окончательном результате эта цифра отбрасывается.

Пример. Вычислить мощность, рассеивающуюся на резисторе, сопротивление которого равно 1,3 *ком*, при протекании по нему тока величиной 25 *ма*

$$P = I^2R = 0{,}025^2\ a^2 \cdot 1\,300\ ом = 0{,}000625\ a^2 \cdot 1\,300\ ом = 0{,}000625 \cdot 1\,300\ вт = 0{,}81\ вт.$$

Таким образом, в результате вычислений должны сохраняться только те цифры, точность которых обеспечивается точностью исходных данных, а остальные — отбрасываются при округлении результата. Выписывание лишних цифр, могущих получиться при выполнении действий, не увеличивает точности результата, но только делает более громоздкой его запись, что затрудняет его практическое использование.

В некоторых случаях, например при градуировке измерительных приборов, результаты измерений оформляются в виде графика, изображающего зависимость между двумя величинами. График вычерчивается на миллиметровой бумаге, причем следует стремиться к использованию по возможности всей площади графика. Поэтому в общем случае следует откладывать значения величин на осях графика, начиная не от нуля, а от наименьшего значения величины, которое может и не равняться нулю. Для сравнения на рис. 14 показаны графики градуировки шкалы настройки УКВ приемника в диапазоне 40—60 *Мгц* при отсчете частоты от 0 (рис. 14, *а*) и от 40 *Мгц* (рис. 14, *б*). Во втором случае масштаб графика по оси частот значительно укрупняется, становится более заметной его криволинейность, а определение частоты по графику возможно с большей точностью, хотя занимаемая им площадь даже несколько меньше, чем на рис. 14, *а*.

Для построения графика результаты измерений предварительно сводят в таблицу, затем выбирают масштаб по каждой из осей графика и на них наносят масштабные деления и числовые отметки. Масштаб должен выбираться, исходя из соображений удобства пользования графиком и сохранения точности данных, по которым он

строится. В рассмотренном выше примере при градуировке шкалы со 100 делениями удобно выбрать масштаб по горизонтальной оси равным 1 *дел/мм*, масштаб по вертикальной оси выбирается в зависимости от точности градуировки. Например, при абсолютной погрешности отсчета частоты по шкале приемника, равной ±0,1 *Мгц*, целесообразно брать масштаб равным 0,1 *Мгц/мм* или 0,05 *Мгц/мм*.

После разметки осей на график наносятся результаты измерений в виде точек с координатами, соответствующими числовым значениям измеряемых величин. Необходимое число точек и их количество на различных участках графика зависит от характера изображаемой зависимости. Если, предположительно, линия графика

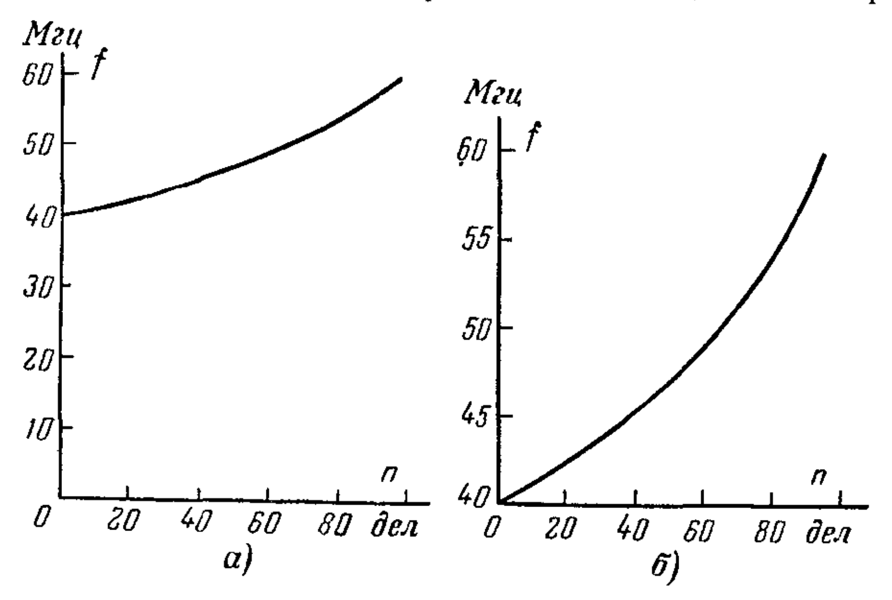


Рис. 14. Градуировочные графики УКВ приемника.

а — при отсчете частоты от нуля; *б* — при оптимальном выборе начала отсчета.

должна иметь плавный ход (как в приведенном примере), то точки могут располагаться равномерно. Если же ожидается изменение графика по сложному закону (например, при снятии частотной характеристики усилителя промежуточной частоты радиоприемника), то в местах резких изгибов линии графика точки должны располагаться чаще, чем на остальной его части. Полезно отобразить на графике погрешность измерения величины, для чего каждая точка окружается прямоугольником, стороны которого равны (в выбранных масштабах) удвоенным абсолютным погрешностям соответствующих величин.

Полученные точки соединяются плавной кривой с помощью лекала, вместо которого можно воспользоваться надлежащим образом изогнутым куском толстого провода. Довольно распространенной ошибкой является стремление провести линию графика непременно через все нанесенные точки. В действительности кривая может проходить не через все точки, а лишь через часть из них, причем остальные точки должны располагаться по обе стороны кривой на примерно равных расстояниях от нее. При замене точек прямоугольниками, как описано выше, достаточно, чтобы линия графика только касалась их. Чрезмерно большое удаление какой-либо точки от линии графика является признаком грубой ошибки, допущенной при измерении соответствующего значения величины. Это измерение

следует повторить и заново нанести точку на график. При невозможности повторить измерение явно недостоверный результат не должен приниматься во внимание.

Важнейшими достоинствами графика являются наглядность изображения зависимости между величинами и возможность определения по графику таких значений величины, которые при построении графика непосредственно не измерялись. Например, в рассмотренном случае градуировки УКВ приемника достаточно измерить значения частоты настройки через каждые 5 или даже 10 делений шкалы, чтобы после построения графика можно было определять частоту для каждого деления шкалы. Однако использование этих преимуществ графика возможно только при условии соблюдения приведенных рекомендаций по его построению. Если же график построен небрежно, то он может исказить действительный характер зависимости между величинами, а в дальнейшем явиться источником постоянных ошибок, т. е. дезориентировать пользующегося им любителя. Поэтому к выполнению графиков, особенно градуировочных, следует относиться с большим вниманием.

16. Техника безопасности при измерениях

При выполнении измерений и других работах с радиоаппаратурой необходимо помнить, что в радиотехнических устройствах, особенно питающихся от электрической сети, действуют опасные для жизни напряжения. Исключение составляют лишь транзисторные устройства с питанием от батарей (но не от сети!). Большинство промышленных измерительных приборов также питается от электрической сети. Поэтому *при измерениях следует соблюдать все меры предосторожности, чтобы обезопасить себя от возможного поражения током.*

1. Приступая к работе с незнакомым радиоустройством (например, к его ремонту), следует прежде всего внимательно изучить его схему и определить расположение деталей и проводников, находящихся под высоким напряжением. После включения устройства нельзя касаться этих деталей и проводников руками или неизолированным инструментом.

2. До включения устройства необходимо убедиться в соответствии положения переключателя сетевого напряжения его номинальной величине, а также в исправности плавких предохранителей.

3. При измерении напряжений и токов нельзя присоединять измерительные приборы случайными проводниками. Специально для этой цели должны быть предназначены проводники с надежной изоляцией, снабженные щупами с изоляционными ручками. Присоединять щуп к схеме следует одной рукой, причем вторая рука не должна касаться шасси, корпуса прибора или других электропроводящих предметов.

4. В некоторых телевизорах («Воронеж», «Енисей», «Енисей-2», «Знамя», «Знамя-58», «Знамя-58М», «Львів», «Львів-2», «Неман», «Рекорд», «Рекорд-А», «Рекорд-Б», «Рекорд-12», «Старт», «Старт-2») шасси соединено с электрической сетью, что значительно увеличивает опасность работы при их ремонте. Во избежание поражения током после включения такого телевизора в сеть нельзя прикасаться к его шасси руками или неизолированным инструментом, заземлять его, а также соединять с заземленными приборами. Такие же предосторожности необходимо соблюдать и при работе с самодельными устройствами, шасси которых имеет соединение с электрической сетью.

5. Отпайку или замену деталей, а также измерение сопротивлений в схеме радиоустройства можно производить только после его выключения, вынув вилку сетевого шнура из розетки и выждав некоторое время для того, чтобы разрядились конденсаторы схемы В телевизорах заряд емкости фильтра высоковольтного выпрямителя, питающего анод кинескопа, может сохраняться длительное время после выключения. Поэтому после выключения телевизора следует разряжать емкость высоковольтного фильтра с помощью изолированного проводника, один конец которого присоединяют к шасси, а затем касаются вторым концом вывода анода кинескопа. Аналогичный прием рекомендуется и для разряжения электролитических конденсаторов, если нет уверенности в их самостоятельном разряде после выключения радиоустройства.

6. При необходимости настройки или регулировки радиоустройств во включенном состоянии (подстройка контуров, регулировка полупеременных конденсаторов или резисторов и т. п.) следует пользоваться инструментом с надежной изоляцией.

7. При подключении измерительных приборов к радиоустройству необходимо избегать одновременного прикосновения соединительного щупа к двум или более токонесущим проводникам, так как при этом может произойти короткое замыкание Особую осторожность следует соблюдать при работе с печатными схемами, для которых характерны малые расстояния между соседними проводниками печатной платы.

8. Во время работы радиолампы, особенно кенотроны и выходные лампы, сильно нагреваются, и нагрев их баллонов сохраняется в течение некоторого времени после выключения устройства. Во избежание ожогов нельзя прикасаться руками к лампам, а при необходимости вынуть лампу из панельки для замены или проверки следует использовать для защиты рук кусок толстой ткани. До высокой температуры нагреваются также остеклованные проволочные резисторы, имеющиеся в некоторых телевизорах.

9 При ремонте и налаживании телевизоров необходимо с особой осторожностью обращаться с кинескопом. Недопустимы удары по кинескопу или попадание на него расплавленного припоя, так как это может вызвать взрыв кинескопа.

10. При работе электролитических конденсаторов фильтра под напряжением, превышающим рабочее, и протекании через них переменной составляющей пульсирующего тока они заметно нагреваются. В некоторых случаях нагрев электролитических конденсаторов приводит к их взрыву. Если при измерениях будет установлено, что напряжение на электролитических конденсаторах больше рабочего, или будет обнаружен их нагрев, следует выключить устройство и устранить причину ненормальной работы. Недопустима работа выпрямителей без нагрузки, так как при этом напряжение, приложенное к электролитическим конденсаторам, может превысить рабочее, вследствие чего возникнет возможность их взрыва.

11. При перегреве силового трансформатора, появлении запаха гари, искрения внутри баллонов радиоламп или разогревании их анодов следует немедленно выключить радиоустройство и только после этого приступать к отысканию неисправностей.

12. Нельзя оставлять включенные радиоустройства без надзора и допускать к ним посторонних лиц.

Глава четвертая

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ

17. Авометр

Авометр позволяет измерять величину постоянного тока в пределах 0—3—30 ма, постоянное напряжение в пределах 0—9—300—900 в, переменное напряжение частотой 50—20 000 гц в пределах 0—3—9—300 в и сопротивление постоянному току в пределах 100 ом — 100 ком. Входное сопротивление прибора при измерении постоянных напряжений 1,9 ком/в, при измерении переменных напряжений 0,85 ком/в. Авометр питается от одного элемента 332 (ФБС-0,25). Габариты авометра 130×70×45 мм, вес 400 г.

Принципиальная схема авометра приведена на рис. 15. Измеритель μ*A* совместно с резисторами R_7—R_9 универсального шунта образует схему измерения постоянного тока. Для измерений прибор включают в цепь тока двумя проводниками со щупами, один из которых с помощью однополюсной вилки постоянно присоединен к гнезду *Общ.*—, а другой — к гнезду *1* при измерении токов до 3 *ма* или к гнезду *8* при измерении токов до 30 *ма*. Универсальный шунт остается присоединенным параллельно рамке измерителя и при других видах измерений, однако чувствительность прибора уменьшается вследствие этого лишь незначительно, так как сопротивление универсального шунта во много раз больше сопротивления рамки.

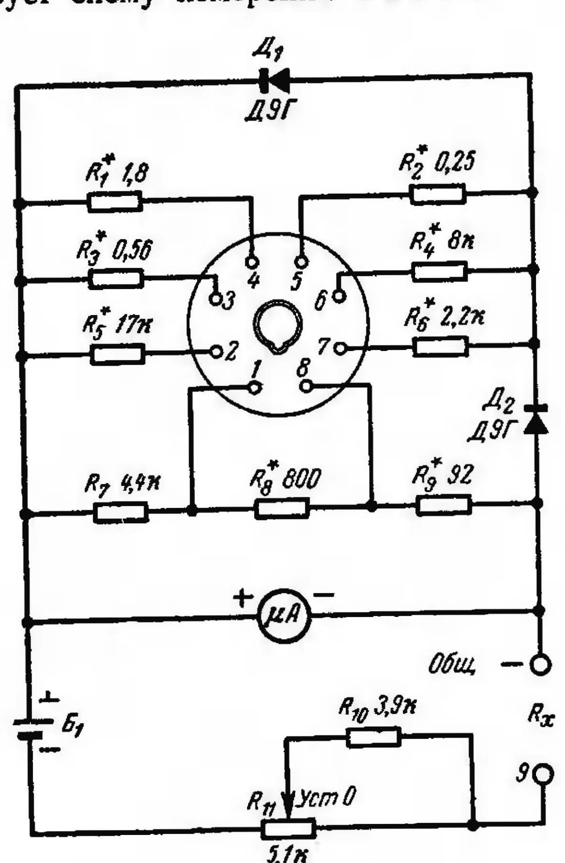


Рис. 15. Принципиальная схема авометра.

Постоянное напряжение измеряют с одним из добавочных резисторов R_1, R_3 или R_5 в зависимости от предела измерения. Для этого вилку щупа включают в гнездо *2* при измерении напряжений до 9 *в*, в гнездо *3* — до 300 *в* или в гнездо *4* — до 900 *в*.

Переменное напряжение измеряют с выпрямительными диодами $Д_1$ и $Д_2$ и добавочными резисторами R_2, R_4 или R_6. При этом вилку щупа включают в гнездо *7* при измерении напряжений до 3 *в*, в гнездо *6* — до 9 *в* или в гнездо *5* — до 300 *в*. Диоды $Д_1$ и $Д_2$ остаются присоединенными к рамке измерителя и при остальных видах измерений, но это не отражается на чувствительности прибора, поскольку обратное сопротивление диодов очень

велико по сравнению с сопротивлением рамки Более того, сохранение цепи $Д_1$, $Д_2$ при измерениях на постоянном токе даже полезно, так как в случае ошибочного включения прибора в обратной полярности бóльшая часть тока потечет не через измеритель, что могло бы вызвать деформацию его стрелки, а через диоды, прямое сопротивление которых значительно меньше сопротивления рамки измерителя.

Измерение сопротивлений производят с помощью последовательной цепи, образованной батареей $Б_1$, измерителем, измеряемым сопротивлением R_x, постоянным добавочным резистором R_{10} и переменным добавочным резистором R_{11}, который служит для установки нуля шкалы омметра. При измерении сопротивлений вилку щупа включают в гнездо *9*. Перед измерением проверяют установку нуля омметра при соединенных между собой щупах.

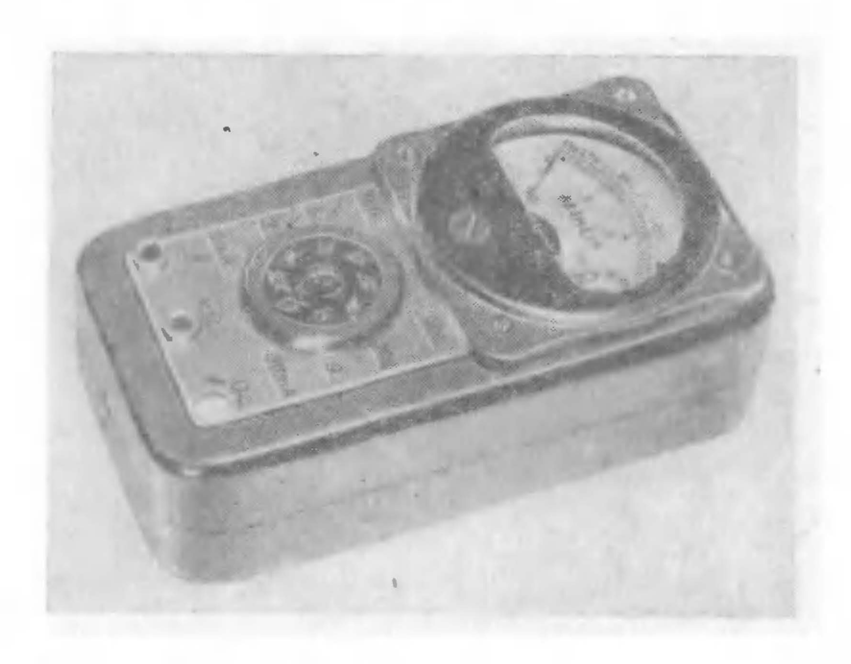


Рис. 16. Внешний вид авометра.

Поскольку энергия источника расходуется только при измерении сопротивлений, а саморазряд его незначителен, потребность в корректировке нуля шкалы омметра резистором R_{11} возникает весьма редко. Шкала омметра обратна по отношению к другим шкалам, т. е. нуль шкалы омметра совпадает с максимальными значениями других шкал.

Конструкция и монтаж. Авометр смонтирован в пластмассовом корпусе размерами 130×70×38 *мм*, состоящем из двух разъемных частей. Верхняя крышка корпуса является лицевой панелью прибора. На ней укреплены измеритель, восьмиштырьковая ламповая панелька, а также гнезда *Общ.*—и *9*. Для установки нуля шкалы омметра в панели имеется отверстие, открывающее доступ к шлицу оси переменного резистора R_{11}. К панели прикреплен наличник из тонкого оргстекла, который защищает от загрязнений надписи, указывающие пределы измерения прибора. Внешний вид авометра показан на рис. 16.

Все резисторы и диоды размещены внутри корпуса прибора, причем бóльшая часть их смонтирована на гетинаксовой плате размерами 64×64×2 *мм*, два угла которой закруглены радиусом 12 *мм*.

Плата привинчена изнутри к верхней крышке прибора. К плате прикреплены переменный резистор R_{11}, держатель элемента $Б_1$, универсальный шунт R_7—R_9 и приклепаны контактные лепестки, на которых распаяны резисторы R_1—R_6 Резистор R_{10} припаян непосредственно к выводам резистора R_{11} Диоды $Д_1$ и $Д_2$ расположены на корпусе измерителя и припаяны к лепесткам, поджатым под его выводы. Монтажные соединения выполнены многожильным проводом в полихлорвиниловой изоляции. Монтаж авометра показан на рис. 17.

Особенностью авометра является отсутствие в нем переключателей вида работы и пределов измерений. Благодаря этому конструкция прибора упрощена и он имеет малые габариты и вес.

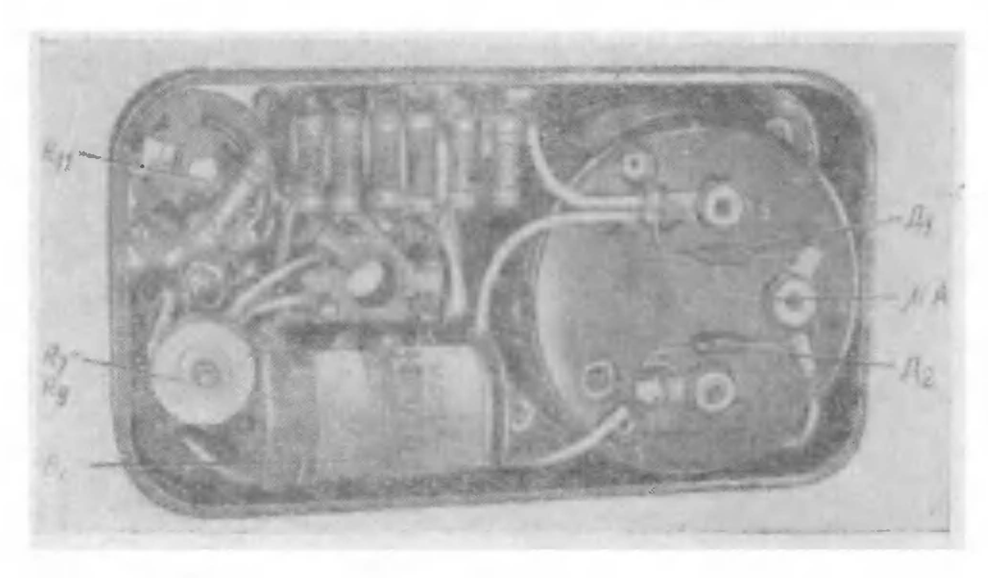


Рис. 17. Монтаж авометра.

Детали. В авометре применен измеритель с током полного отклонения 500 *мка* и сопротивлением рамки 350 *ом*. В качестве измерителя использован прибор типа М20, в котором с целью увеличения чувствительности установлен более сильный постоянный магнит. Могут применяться приборы других типов, причем величина сопротивления рамки не оказывает существенного влияния на данные деталей схемы, а изменение тока полного отклонения потребует пересчета сопротивлений добавочных резисторов. Изменение сопротивлений этих резисторов должно быть обратно пропорционально изменению тока полного отклонения прибора. Например, в случае применения в авометре измерителя с током полного отклонения 1 *ма* сопротивления резисторов R_1—R_6 следует уменьшить примерно в 2 раза, окончательно подобрав их величины при налаживании авометра. Кроме того, может потребоваться уменьшение сопротивления резистора R_{10}. Использование в авометре прибора с током полного отклонения более 1 *ма* весьма нежелательно, так как при этом авометр будет иметь малое входное сопротивление и, следовательно, окажется непригодным для измерения напряжений в высокоомных цепях.

Диоды $Д_1$ и $Д_2$ типа Д9Г могут быть заменены точечными диодами других типов. Их прямое сопротивление должно быть порядка десятков ом, а обратное — сотен килоом. Плоскостные диоды работают менее стабильно, чем точечные, поэтому применять их в авометре не рекомендуется, особенно если предполагается использовать его для измерения напряжений звуковой частоты (например, в качестве измерителя выхода).

Переменный резистор R_{11} — любого типа Можно использовать резистор типа СП-2, укоротив его ось и пропилив в ней шлиц под отвертку. Сопротивление резистора R_{11} может лежать в пределах 2—10 *ком*, причем меньшим сопротивлениям соответствует более плавная установка нуля шкалы омметра.

Резисторы R_1—R_6 могут быть типа ВС-0,25 или МЛТ-0,5, причем каждый их них составляется из двух, соединяемых последовательно. Окончательный подбор этих резисторов производится при налаживании авометра, поэтому они могут иметь допуск ±5% или даже ±10%. Желательно использовать в качестве R_1—R_6 резисторы, ранее хранившиеся без употребления год или более Во время длительного хранения происходит старение резисторов, проявляющееся в изменении их сопротивлений. По истечении примерно года дальнейшее изменение сопротивлений становится незначительным. Следовательно, авометр, построенный с применением состарившихся добавочных резисторов, будет работать более стабильно

Резистор R_{10} может быть типа ВС-0,25 или МЛТ-0,5 с допуском до ±20%.

Резисторы универсального шунта R_7—R_9 наматываются на каркасах из любого изоляционного материала проводом с высоким удельным сопротивлением (манганиновым или константановым). Диаметр провода резистора R_9 должен быть не менее 0,12 *мм*, остальные резисторы можно изготовить из более тонкого провода. Первоначальные сопротивления резисторов R_8 и R_9 должны превышать указанные на схеме рис. 15 на 5—10%. Окончательная подгонка их производится при налаживании авометра. Если изготовление проволочных резисторов затруднительно, то можно применить вместо них непроволочные, однако это несколько затруднит налаживание прибора.

Корпус авометра может быть пластмассовым или металлическим. В последнем случае необходимо принять меры, исключающие возможность соприкосновения с корпусом токонесущих проводников и деталей. Восьмиштырьковая панелька, используемая в качестве гнезд *1*—*8*, должна быть пластмассовой или керамической, что обеспечит хорошую изоляцию между гнездами.

В авометре применяется сухой элемент типа 332 (ФБС-0,25). Для его крепления служит держатель, состоящий из двух стальных или латунных деталей, которые одновременно являются токосъемниками. Детали держателя изготовляются согласно рис. 18, *а* и приклепываются к монтажной плате, как показано на рис 18, *б*. Держатель должен прочно удерживать элемент и обеспечивать надежный контакт с его выводами. Возможно применение держателя другой конструкции.

Щупы и соединительные проводники, которыми авометр подключается к объекту измерения, должны иметь хорошую изоляцию. Удобные и надежные в эксплуатации щупы можно сделать из цанговых автоматических карандашей Для этого из стальной проволоки или спицы изготовляют стержни длиной около 100 *мм*, которые вставляют в карандаш вместо графитовых (рис. 18, *в*) Концы этих стержней запиливают на конус, что позволяет надевать на них зажимы «крокодил» для подключения авометра к объекту измере-

ния. В случае необходимости присоединения к точкам, находящимся в глубине монтажа исследуемого объекта, стержни могут выдвигаться из карандаша, а для предотвращения случайных замыканий на них надеваются изоляционные трубки. Многожильный соединительный проводник длиной около 1 *м* в полихлорвиниловой изоляции пропускается через отверстие в торце карандаша

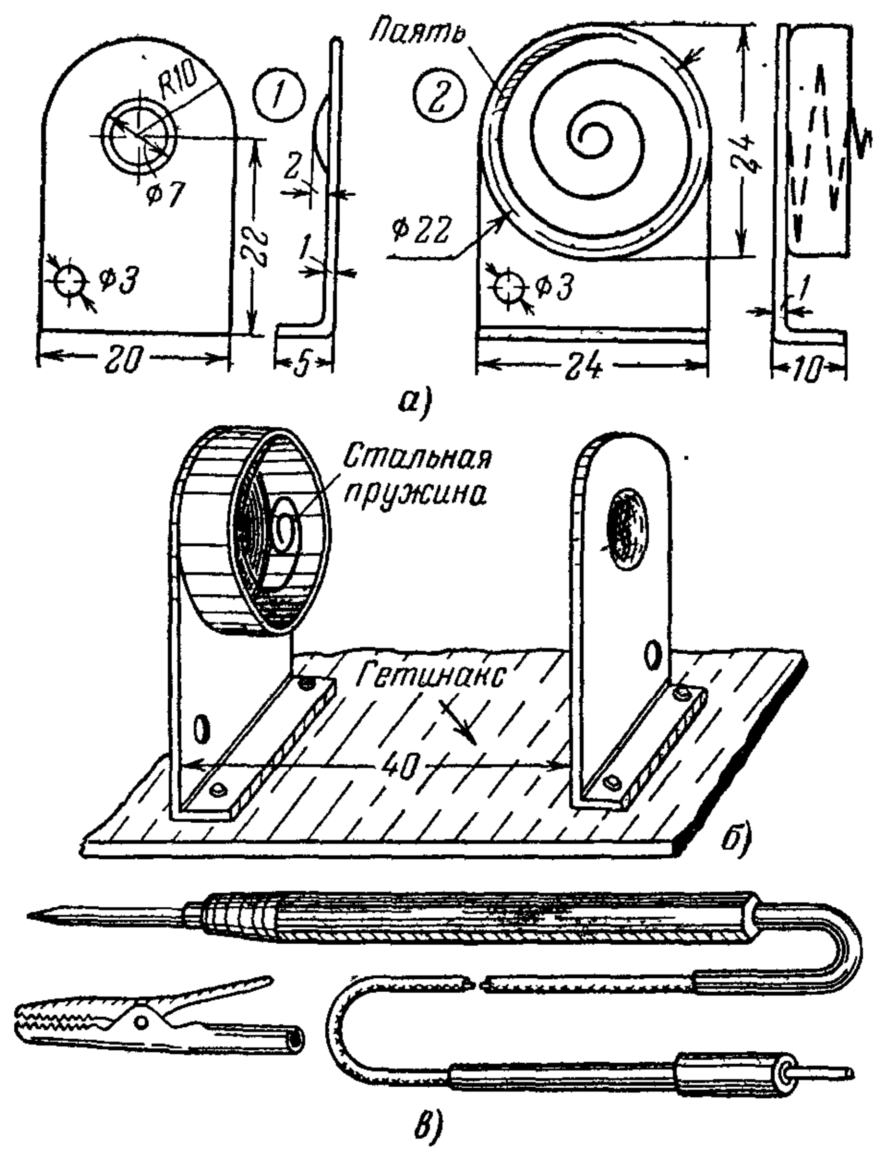


Рис. 18. Детали авометра.

а — детали держателя элемента; *б* — держатель в сборе; *в* — соединительный проводник со щупом и зажимом «крокодил».

и припаивается к металлической трубке, в которую вставляется стержень. На оба конца этого проводника следует натянуть примерно 100 *мм* полихлорвиниловой или резиновой трубки, чтобы предохранить проводник от повреждений в местах частых перегибов. Во избежание ошибочных включений прибора в обратной полярности необходимо иметь соединительные проводники (а по возможности и щупы) разного цвета, например красный и синий.

Налаживание. Налаживание и градуировку авометра производят путем сравнения его показаний с показаниями образцового

прибора, в качестве которого в любительских условиях может быть использован авометр промышленного изготовления. Для налаживания необходимо иметь также источники постоянного и переменного напряжения, несколько переменных резисторов, набор постоянных резисторов с различными номиналами. Желательно располагать магазином сопротивлений, применение которого значительно облегчает градуировку авометра.

Налаживание начинают с установки пределов измерения величины тока. Для этого собирают вспомогательную схему (рис. 19, *а*), на которой: $Б_1$ — батарея типа КБС-Л-0,5, mA_1 — налаживаемый прибор, mA_2 — образцовый прибор, R_1 — переменный резистор сопротивлением около 2 *ком* (вместо него может включаться магазин сопротивлений).

Переменный резистор R_1 в схеме устанавливают на максимальное сопротивление, mA_1 включают на предел 30 *ма*, mA_2 — на равный или ближайший больший предел и цепь замыкают. Плавно уменьшая сопротивление переменного резистора R_1, устанавливают по образцовому прибору mA_2 ток 30 *ма*, при этом стрелка mA_1 должна уйти за пределы его шкалы. Постепенно отматывая провод с резистора R_9 (см. рис. 15), приводят стрелку mA_1 на последнее деление шкалы. Затем увеличивают сопротивление переменного резистора R_1 до максимального и переключают mA_1 на предел 3 *ма*, а mA_2 — на равный или ближайший больший предел. Плавным уменьшением сопротивления переменного резистора R_1 устанавливают по образцовому прибору mA_2 ток 3 *ма* и, отматывая провод с резистора R_8 (см. рис. 15), приводят стрелку mA_1 на последнее деление шкалы. После этого необходимо вновь проверить установку предела 30 *ма*, для чего повторяют ее, как описано выше, и, если это необходимо, несколько уменьшают сопротивление резистора R_9. На этом налаживание схемы измерения величины тока заканчивается.

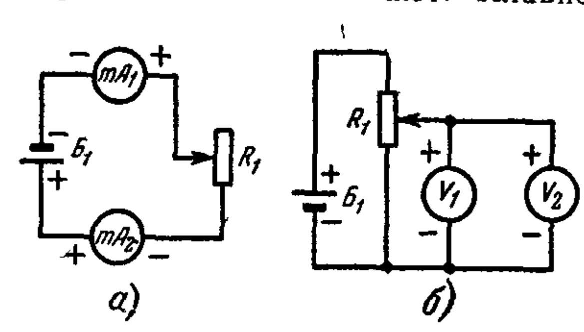


Рис. 19. Вспомогательные схемы для градуировки авометра.

а — по току; *б* — по напряжению

Если в качестве R_8 и R_9 применяют непроволочные резисторы, то их сопротивления должны быть больше указанных на рис. 15 примерно на 10%. Установку пределов измерения величины тока производят таким же образом, как изложено выше, но с тем отличием, что подгонку R_8 и R_9 осуществляют путем параллельного присоединения к ним дополнительных резисторов. Сопротивления последних должны быть примерно в 8—10 раз больше основных. Например, параллельно резистору R_9 можно подключать резисторы сопротивлением 750, 820 или 910 *ом*. Окончательная подгонка возможна благодаря тому, что среди резисторов с одинаковыми номиналами имеются экземпляры с различными в пределах, допускаемых их классом точности, действительными сопротивлениями. Подбор непроволочных резисторов является довольно трудоемкой операцией, поэтому прибегать к этому варианту следует лишь в крайнем случае, когда изготовление проволочных

резисторов невозможно (например, из-за отсутствия высокоомного провода).

Следующим этапом является установка пределов измерения постоянного напряжения. Для этого собирают вспомогательную схему (рис. 19, *б*), в которой: $Б_1$ — две последовательно соединенные батареи типа КБС-Л-0,5, R_1 — переменный резистор сопротивлением 2 *ком*, V_1 — налаживаемый прибор, V_2 — образцовый прибор.

Включив V_1 на предел 9 *в*, а V_2 — на равный или ближайший больший предел, с помощью переменного резистора R_1 устанавливают по образцовому прибору V_2 напряжение 9 *в* и подбирают сопротивление резистора R_5 (см. рис. 15) до отклонения стрелки налаживаемого прибора V_1 на всю шкалу. Как указывалось выше, резистор R_5 (и другие добавочные резисторы) составлен из двух соединенных последовательно, что упрощает подбор его сопротивления. Например, резистор R_5 можно составить из двух: 15 и 1,8 *ком*. При установке предела подбирается сопротивление второго резистора.

Аналогично производится установка остальных пределов измерения постоянного напряжения. Отличие заключается лишь в том, что в схеме, изображенной на рис. 19,*б*, применяется резистор R_1 сопротивлением порядка 500 *ком*, а в качестве источника тока используется выпрямитель. Подбирая добавочные резисторы на пределах 300 и 900 *в*, следует соблюдать особую осторожность, чтобы случайным замыканием резисторов не вызвать чрезмерного тока в цепи налаживаемого прибора, который может испортить его измеритель. Поскольку действующие в схеме напряжения являются опасными для жизни, присоединение и отсоединение резисторов можно производить только при выключенном источнике питания. Если подбираемые резисторы припаиваются, то после пайки необходимо выждать некоторое время до их полного охлаждения и только после этого производить измерения, так как сопротивления непроволочных резисторов зависят от их температуры.

Как известно, шкалы постоянного тока и напряжения совершенно линейны, поэтому градуировка шкалы авометра для этих видов измерений сводится к делению ее дуги на равные части, что можно выполнить с помощью циркуля. В описываемом приборе использовалась готовая шкала с 30 равномерными делениями. При отсутствии такой шкалы ее можно вычертить тушью на плотной бумаге.

Несколько сложнее обстоит дело при градуировке шкал переменных напряжений, которые неравномерны. Для градуировки собирается схема, подобная приведенной на рис. 19, *б*, но питающаяся от источника переменного напряжения, в качестве которого может служить любой силовой трансформатор или автотрансформатор. Заметим, что при градуировке шкал переменных напряжений нельзя применять стабилизаторы напряжения. Стабилизаторы напряжения искажают его форму, и она становится отличной от синусоидальной. Если бы градуировка выполнялась с помощью стабилизатора, т. е. при несинусоидальном напряжении, то она оказалась бы неверной для синусоидального напряжения, которое должен измерять авометр.

Градуировку шкалы переменного напряжения производят в следующем порядке. Сначала устанавливают верхний предел из-

мерения напряжения (300 *в*) по образцовому прибору и добавочный резистор R_2 (см. рис. 15), состоящий из двух соединенных последовательно, подбирают до отклонения стрелки градуируемого авометра на всю шкалу. После этого с помощью переменного резистора R_1 вспомогательной схемы уменьшают напряжение и через 10 *в* наносят на шкалу авометра отметки (290 *в*, 280 *в* и т. д.). При этом получается шкала переменного напряжения, значительная часть которой практически совпадает со шкалой постоянного напряжения. В некоторых случаях нелинейность шкалы переменного напряжения может оказаться настолько незначительной, что нанесение дополнительных отметок будет нецелесообразно, и представится возможность использовать одну и ту же шкалу для измерения как постоянных, так и переменных напряжений. Если же при градуировке будет обнаружена существенная нелинейность шкалы переменного напряжения, следует попробовать заменить диоды $Д_1$ и $Д_2$, поскольку степень нелинейности зависит от их характеристик. В случае, если замена диодов не даст положительного результата, лучше вместо $Д_1$ включить два диода, соединенных параллельно.

После того, как градуировка на пределе 300 *в* переменного напряжения будет закончена, производят установку пределов 3 и 9 *в* переменного напряжения. Установку осуществляют подбором сопротивлений резисторов R_4 и R_6 (см. рис. 15). Шкалы на этих пределах практически совпадают со шкалами на 300 *в*, но цена деления шкалы будет другой. Поэтому, если позволяет площадь шкалы, желательно нанести на нее два ряда числовых отметок: 0,100, 200, 300 *в* и соответственно 0,300, 600, 900 *в*. Если же площадь шкалы мала, то наносятся только первые цифры чисел каждого ряда: 0, 1, 2, 3 *в* и соответственно 0, 3, 6, 9 *в*.

Налаживание авометра завершается градуировкой шкалы сопротивлений. При наличии магазина сопротивлений градуировка весьма несложна. Замкнув между собой щупы авометра, включенные в гнезда *Общ.* — и *9*, и изменяя сопротивление полупеременного резистора R_{11} (см. рис. 15), устанавливают стрелку авометра на крайнее правое деление шкалы, которое является нулем шкалы сопротивлений. Затем размыкают щупы и присоединяют их к магазину сопротивлений. Устанавливая на магазине сопротивления 100, 200, 300... *ом*, наносят на шкалу отметки на участке 100—1 000 *ом*. После этого градуируют участок шкалы 1—10 *ком*, устанавливая на магазине сопротивления через каждые 1 *ком*, и, наконец, — участок 10—100 *ком* через каждые 10 *ком*. После градуировки на шкале делают соответствующие надписи, которые для сокращения занимаемого ими места лучше располагать радиально по отношению к дуге шкалы.

Если магазин сопротивлений отсутствует, то градуировку шкалы сопротивлений производят, используя в качестве образцовых постоянные резисторы с допуском ±5%. Такой вариант градуировки дает вполне достаточную для практических целей точность, но более трудоемок, поскольку для получения необходимых сопротивлений в некоторых случаях потребуется последовательное соединение резисторов. Например, сопротивление 600 *ом* может быть получено при последовательном соединении резисторов сопротивлением 470 и 130 *ом*, 360 и 240 *ом*, 510 и 91 *ом* или 560 и 39 *ом*.

Кроме описанных выше способов, градуировка шкалы сопротивлений может быть произведена также с помощью образцового ом-

метра или авометра и переменных резисторов любого типа. Например, для градуировки шкалы на участке 100—1 000 *ом* переменный резистор сопротивлением 1 000 *ом* или несколько бо́льшим присоединяют к образцовому прибору и сопротивление резистора устанавливают равным 100 *ом* (по шкале образцового прибора). Затем, не изменяя положения ползунка переменного резистора, присоединяют его к градуируемому авометру и на шкалу последнего наносят отметку, соответствующую сопротивлению 100 *ом*. Аналогично устанавливают сопротивления 200, 300, ..., 1 000 *ом* и на шкалу авометра наносят отметки. Для градуировки шкалы на участке 1—10 *ком* необходим переменный резистор сопротивлением 10 *ком* (или больше), а на участке 10—100 *ком* — переменный резистор сопротивлением 100 *ком* (или больше).

Эксплуатация. Технические характеристики авометра позволяют применять его для измерения электрических режимов любительских и промышленных радиоустройств и сопротивлений их цепей и деталей.

В случае необходимости пределы измерения напряжения и величины тока могут быть расширены с помощью наружных добавочных резисторов и шунтов, которые рассчитываются по формулам (4)—(7).

При использовании прибора в качестве омметра возможно измерение большинства сопротивлений, применяемых в транзисторных схемах, а также значительной части сопротивлений в ламповых схемах. Расширение пределов измерения сопротивлений возможно при увеличении напряжения питания схемы омметра. Дополнительный источник питания (например, батарея «Крона») может быть размещен внутри корпуса авометра. Для измерения сопротивлений при повышенном напряжении питания потребуются нанесение дополнительной шкалы и ее градуировка. Поэтому такое усовершенствование авометра целесообразно вводить только в случае применения в нем измерителя с достаточно большой шкалой, на которой можно будет разместить необходимые надписи.

18. Транзисторный вольтомметр

Транзисторный вольтомметр предназначен для измерения постоянных напряжений в пределах 0—0,5—1—5—10—50—100—500—1 000 в, измерения напряжений высокой частоты (0,1—150 Мгц) в пределах 0—1 в, индикации напряжений высокой частоты (0,1—150 Мгц) в пределах 0—200 в и измерения сопротивления постоянному току в пределах 5—2 000 ком. Входное сопротивление прибора при измерении постоянных напряжений равно 60 ком/в, при измерении и индикации напряжений высокой частоты —20 ком/в; входная емкость при измерении и индикации напряжений высокой частоты равна 5 пф. Вольтомметр питается от одного элемента типа 332 (ФБС-0,25) и потребляет от него ток 8 ма. Габариты вольтомметра 130×70×50 мм, вес 400 г.

Принципиальная схема вольтомметра приведена на рис. 20. Основными схемными элементами вольтомметра являются (рис. 20, *а*) добавочные резисторы вольтметра R_3—R_9, добавочные резисторы омметра R_2 и R_{11}, усилитель постоянного тока на транзисторе T_1, измеритель *mA* с нелинейным шунтом $Д_2$, R_{14} и цепь стабилизации напряжения питания $Д_3$, R_{15}.

Измеряемое постоянное напряжение прикладывается между гнездом 10 (*Общ.* +) и одним из гнезд *2—8*. В зависимости от предела измерения один из добавочных резисторов R_3—R_9 вместе с резистором R_{12} и входным сопротивлением транзистора T_1 образуют делитель напряжения с соответствующим коэффициентом деления

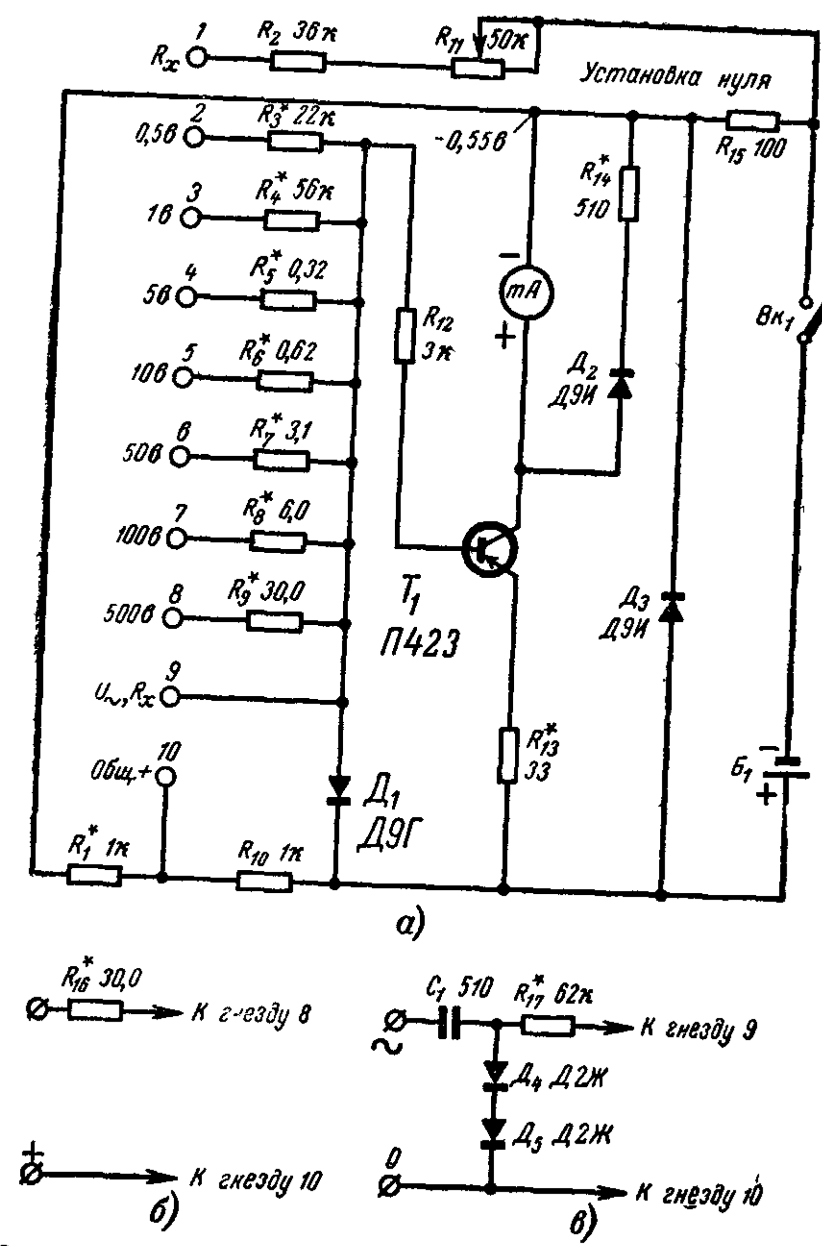


Рис. 20. Принципиальная схема транзисторного вольтомметра.

а — вольтомметр; *б* — высоковольтный щуп; *в* — высокочастотный щуп-пробник.

Напряжения до 1 000 *в* измеряют с наружным добавочным резистором R_{16}, вынесенным в специальный высоковольтный щуп (рис. 20, *б*). Посредством соединительных проводников с однополюсными вилками щуп подключается к гнездам *8* и *10* вольтомметра.

Диод $Д_1$ включен в обратной полярности по отношению к измеряемому напряжению, и его обратное сопротивление во много

раз превышает входное сопротивление транзистора T_1, благодаря чему диод практически не влияет на работу усилителя постоянного тока. В случае же ошибочной перемены полярности измеряемого напряжения эмиттерный переход транзистора T_1 запирается, а диод $Д_1$ отпирается и ток входной цепи проходит по нему, что предотвращает возможность пробоя эмиттерного перехода транзистора обратным напряжением.

Необходимая величина коэффициента усиления по току (около 60) устанавливается выбором номинала резистора R_{13} в цепи эмиттера транзистора T_1. С увеличением сопротивления этого резистора увеличивается действие отрицательной обратной связи по току и уменьшается усиление схемы. Кроме того, включение резистора в эмиттерную цепь транзистора несколько стабилизирует параметры вольтомметра.

Измерение высокочастотных напряжений осуществляется с помощью высокочастотного щупа-пробника (рис. 20, *в*), представляющего собой детектор с закрытым входом на диодах $Д_4$ и $Д_5$, которые соединены последовательно с целью увеличения максимально допустимого высокочастотного напряжения. Градуировка прибора по высокочастотному напряжению производится на одном пределе: 0—1 *в*. Для измерений на этом пределе щуп-пробник соединяется с вольтомметром экранированным проводом, внутренняя жила и экран которого с помощью однополюсных вилок присоединяются соответственно к гнездам *9* и *10*. Если же подключать щуп-пробник к одному из гнезд *2—8* и гнезду *10*, то прибор может регистрировать высокочастотные напряжения до 200 *в*. Поскольку, однако, градуировка по высокочастотному напряжению действительна лишь в пределах 0—1 *в*, то для больших напряжений прибор является лишь индикатором, указывающим наличие или отсутствие напряжения.

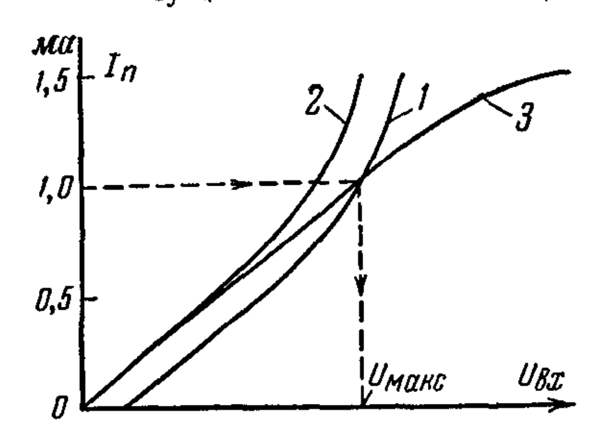


Рис. 21. Зависимость тока стрелочного прибора вольтомметра $I_п$ от входного напряжения $U_{вх}$.

1 — без коррекции; *2* — с начальным смещением; *3* — с начальным смещением и нелинейным шунтом

Вследствие нелинейности характеристик транзистора зависимость его коллекторного тока от напряжения, приложенного ко входу вольтомметра, также нелинейна (рис. 21, кривая *1*). При непосредственной регистрации тока коллектора измерителем его показания были бы непропорциональны измеряемому напряжению, т. е. шкала прибора оказалась бы нелинейной, что нежелательно.

Для получения линейного начального участка шкалы на базу транзистора T_1 подается через объект измерения начальное смещение с делителя напряжения R_1, R_{10}, благодаря чему кривая зависимости тока коллектора от входного напряжения смещается влево. Подбором величины напряжения смещения можно добиться того, чтобы эта кривая проходила через начало координат (рис. 21, кривая *2*).

Улучшение линейности конечного участка шкалы достигается с помощью нелинейного шунта — цепочки $Д_2$, R_{14}. Как известно, прямое сопротивление полупроводникового диода уменьшается при возрастании приложенного к нему напряжения. Поэтому сопротивление цепи $Д_2$, R_{14} при малых напряжениях на рамке измерителя, параллельно которой она присоединена, т. е. в начале шкалы, достаточно велико, и практически весь ток коллекторной цепи проходит через рамку измерителя. При возрастании тока коллектора напряжение на рамке измерителя и цепи $Д_2$ R_{14} увеличивается, сопротивление ее уменьшается и шунтирующее действие усиливается. Чем большее напряжение измеряет прибор, тем бо́льшая доля тока коллектора протекает через нелинейный шунт, вследствие чего отклонение стрелки измерителя несколько уменьшается. Надлежащим выбором сопротивления резистора R_{14} можно добиться пропорциональности показаний прибора входному напряжению, т. е. линейности его шкалы (рис. 21, кривая *3*).

Для сохранения точности вольтомметра в процессе его эксплуатации напряжение, питающее усилитель постоянного тока, должно поддерживаться неизменным. Обычно в любительских конструкциях транзисторных вольтметров предусматриваются контроль и регулировка напряжения питания. Однако необходимость частой проверки и регулировки напряжения создает неудобства в эксплуатации прибора, а дополнительные органы регулировки усложняют его конструкцию. С целью упрощения эксплуатации в описываемом вольтомметре применена стабилизация напряжения с помощью стабилизирующей ячейки $Д_3R_{15}$.

По мере разряда источника питания $Б_1$ напряжение, приложенное к последовательно соединенным R_{15} и $Д_3$, уменьшается. При этом возрастает прямое сопротивление диода $Д_3$, вследствие чего уменьшаются прямой ток диода и падение напряжения на резисторе R_{15}. Соответствующим выбором типа диода и сопротивления резистора R_{15} можно обеспечить изменение напряжения на диоде $Д_3$ не более чем на 5% при разряде источника питания до 1,2*в* (рис. 22, *а*) и практическое постоянство стабилизированного напряжения при изменении тока нагрузки стабилизатора от 0,5 до 1,5 *ма* (рис. 22, *б*). Стабилизация не только позволяет обойтись без ручной регулировки напряжения питания, но также делает ненужной установку нуля вольтметра перед измерениями, так как при стабильном напряжении питания выбором сопротивлений делителя R_1 R_{10} обеспечивается постоянство установки нуля на всех пределах измерения напряжения.

Измерительная цепь однопредельного омметра образуется источником питания $Б_1$, добавочными резисторами R_2 и R_{11}, измеряемым сопротивлением, которое присоединяется к гнездам *1* и *9*, резистором R_{12} и входным сопротивлением транзистора T_1. Ток измерительной цепи, величина которого зависит от измеряемого сопротивления, протекает через эмиттерный переход транзистора и управляет его коллекторным током. Усиленный транзистором ток регистрируется измерителем, одна из шкал которого проградуирована в единицах сопротивления.

Для увеличения верхнего предела измерения сопротивлений схема омметра питается непосредственно от источника, т. е. нестабилизированным напряжением. Поэтому в схеме предусмотрена установка нуля шкалы омметра перед измерением сопротивлений.

Установка нуля производится с помощью переменного резистора R_{11} при соединенных между собой гнездах *1* и *9*.

В радиолюбительских измерительных приборах применяются преимущественно балансные усилители постоянного тока, собраные по симметричным схемам с четным числом транзисторов. Практические испытания описываемой несимметричной схемы показали, что, несмотря на ее простоту, она вполне пригодна для применения в вольтомметре и надежна в эксплуатации.

Детали. В вольтомметре применены распространенные детали и полупроводниковые приборы. В качестве T_1 используется транзистор типа П423. Несколько необычный выбор транзистора для

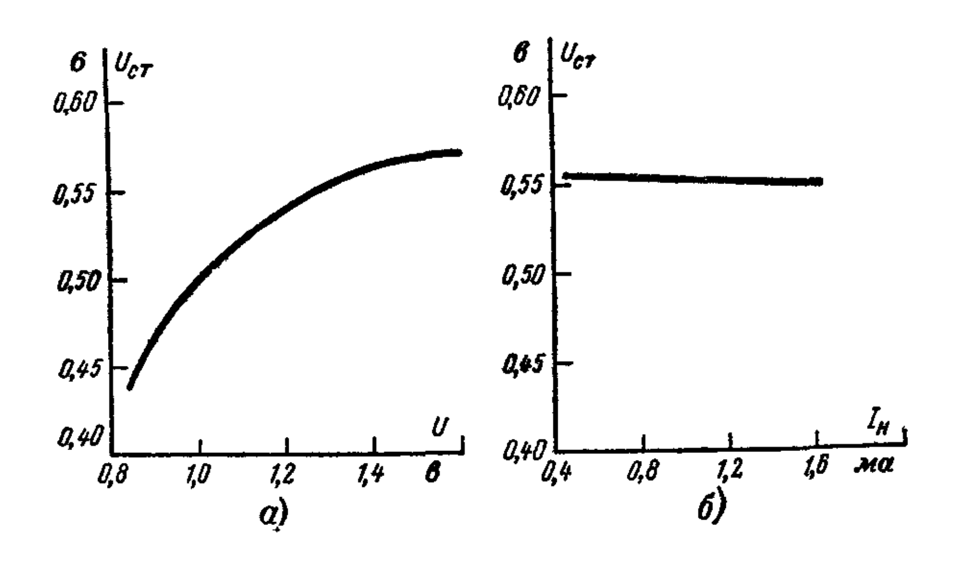


Рис. 22. Характеристики стабилизатора напряжения вольтомметра.

а — зависимость стабилизированного напряжения $U_{ст}$ от напряжения элемента U; *б* — то же от тока нагрузки стабилизатора $I_н$.

усилителя постоянного тока обусловлен тем, что транзисторы данного типа обладают достаточно высоким усилением при малых напряжениях на коллекторе. Предназначенный для установки в вольтомметре транзистор должен иметь коэффициент усиления В = 70÷80, не изменяющийся при длительном включении транзистора. Транзисторы, коэффициент усиления которых самопроизвольно изменяется в течение некоторого времени после их включения, совершенно непригодны для применения в вольтомметре.

Диод $Д_1$ типа Д9Г может быть заменен точечными диодами других типов. Диоды $Д_2$ и $Д_3$ типа Д9И имеют высокую крутизну вольт-амперной характеристики при прямых напряжениях, превышающих 0,3—0,5 *в*, что необходимо для эффективной работы нелинейного шунта и стабилизатора напряжения. Заменить их можно диодами Д9Г и Д9Е. В высокочастотном щупе-пробнике установлены диоды $Д_4$ и $Д_5$ типа Д2Ж с большим допустимым обратным напряжением, что позволяет прикладывать к ним высокочастотные напряжения до 200 *в*. Вместо диодов Д2Ж можно применить три последовательно соединенных диода типа Д2Е, Д2И или четыре последовательно соединенных диода типа Д101, Д101А.

В вольтомметре установлен миллиамперметр типа М20 с током полного отклонения 1 *ма* и сопротивлением рамки 350 *ом*. Можно применять другие приборы равной или большей чувствительности, однако в последнем случае потребуется изменение сопротивлений добавочных резисторов вольтомметра.

Каждое из сопротивлений R_3—R_6 состоит из двух резисторов типа УЛМ-0,12, соединенных последовательно. Сопротивления R_7 и R_8 составлены из двух резисторов типа МЛТ-0,5, а R_9 и R_{16}— из шести резисторов того же типа. Все остальные резисторы могут быть типа УЛМ-0,12. Габариты прибора позволяют применять вместо них и резисторы типа МЛТ-0,5.

Переменный резистор R_{11} имеет линейную зависимость сопротивления от угла поворота его оси и сопряжен с выключателем питания $Вк_1$. Могут использоваться переменные резисторы с сопротивлением от 25 до 75 *ком*.

Конденсатор C_1 типа КТК можно заменить керамическим или слюдяным конденсатором равной или большей емкости. Бумажные и пленочные конденсаторы непригодны из-за значительной собственной индуктивности.

В качестве гнезд *1 — 8* используется восьмиштырьковая ламповая панелька, гнезда *9* и *10* — обычной конструкции.

Щупы, применяемые для соединения вольтомметра с объектами измерения, аналогичны описанным в § 17. Высоковольтный щуп для измерения напряжений до 1 000 *в* и высокочастотный щуп-пробник отличаются тем, что соответствующие детали размещаются внутри них.

Источником питания вольтомметра является сухой элемент $Б_1$ типа 332 (ФБС-0,25).

Конструкция и монтаж. Вольтомметр смонтирован в прямоугольном пластмассовом корпусе размерами 130 × 70 × 38 *мм*. К верхней панели прибора (рис. 23) прикреплены миллиамперметр, восьмиштырьковая панелька, выполняющая функции гнезд *1—8*, гнезда *9* и *10* и переменный резистор R_{11}.

Электрический монтаж вольтомметра (рис. 24) выполнен на двух гетинаксовых платах. Добавочные резисторы R_3 — R_9 распаяны на плате размерами 70 × 26 × 1 *мм*, расположенной перпендикулярно плоскости верхней панели вольтомметра. Отдельная плата добавочных резисторов необходима для обеспечения достаточно высокой изоляции между ними и остальными элементами схемы. Без этой конструктивной меры сопротивление изоляции могло бы оказаться соизмеримым с сопротивлениями добавочных резисторов на высших пределах измерения напряжения, что повлекло бы за собой значительную погрешность и нестабильность показаний прибора на этих пределах. Плата размерами 64 × 64 × 1 *мм*, два угла которой закруглены радиусом 12 *мм*, привинчена изнутри к верхней панели вольтомметра и несет на себе мелкие детали схемы. Исключение составляют T_1, $Д_2$ и R_{14}, которые распаяны на лепестках, привинченных к основанию корпуса миллиамперметра.

Конструкция держателя элемента $Б_1$ подобна приведенной на рис. 18, *б*. Детали держателя изготовлены из латуни и прикреплены к монтажной плате.

Электрические соединения между деталями схемы выполнены проводом в полихлорвиниловой изоляции. Пайка должна производиться с применением чистой канифоли в твердом состоянии. Использование спиртового раствора канифоли, а тем более различных

паяльных флюсов не рекомендуется, так как содержащиеся в них примеси могут, загрязняя поверхность изоляции, существенно увеличить утечки в схеме. Возникновение утечек приведет к возрастанию погрешностей измерения напряжений, особенно на высоковольтных пределах. Для предотвращения возможных поверхностных утечек необходимо располагать соседние добавочные резисторы на монтажной плате так, чтобы расстояния между ними были не менее 3 *мм*, а также избегать взаимного соприкосновения проводников, соединяющих добавочные резисторы с гнездами *1—8*.

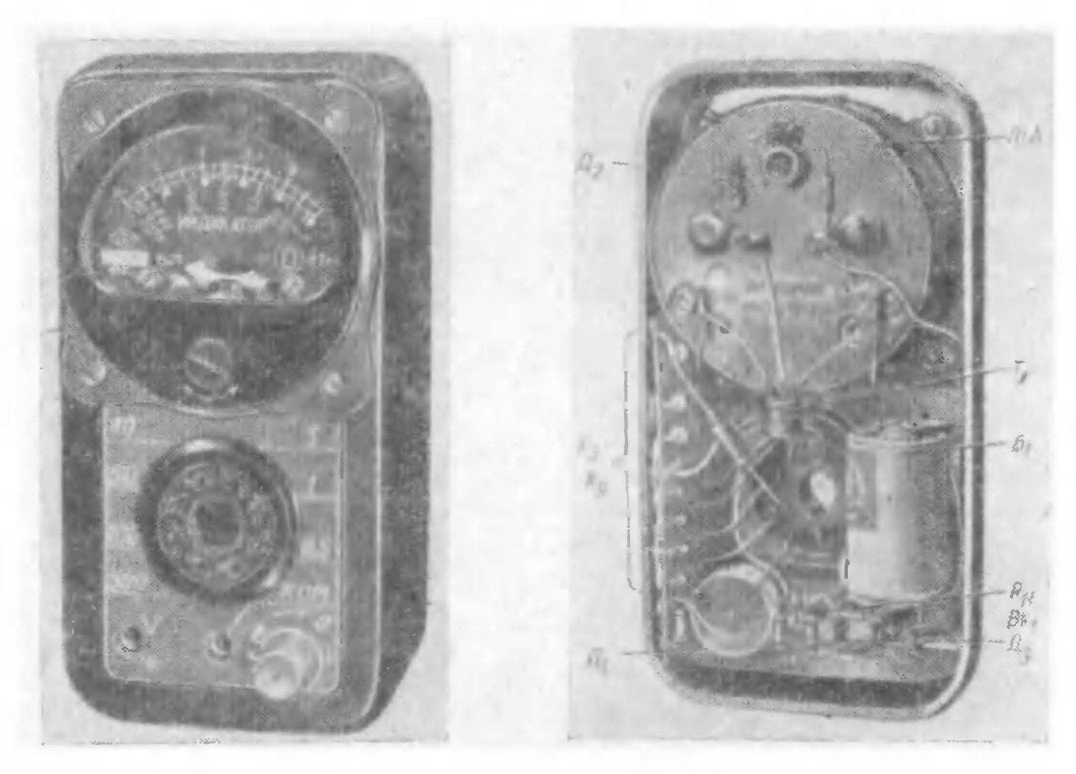


Рис. 23. Внешний вид вольтомметра.

Рис. 24. Монтаж вольтомметра.

Налаживание. Для налаживания вольтомметра необходимо иметь образцовый многопредельный вольтметр, в качестве которого можно воспользоваться авометром типа ВК7-1 (ТТ-3) или другим, магазин сопротивлений или набор постоянных резисторов с допуском ±5%. Кроме того, потребуются источники постоянных напряжений (до 500 *в*), переменные и постоянные резисторы. Желательно также располагать генератором стандартных сигналов типа Г4-1А (ГСС-6А).

Налаживание начинают с установки нуля шкалы напряжений. Для этого включают вольтомметр на предел 1 *в* постоянного напряжения и, соединив между собой щупы, подбирают сопротивление резистора R_1 (см. рис. 20, *а*) до установки стрелки прибора на нуль.

Следующим этапом является установка чувствительности вольтомметра и регулировка линейности шкалы напряжений. Эти операции производят при помощи вспомогательной схемы (рис 25), в которой: $Б_1$ — элемент типа 332 (ФБС-0,25), V — образцовый вольтметр, включенный на предел 1 *в* или ближайший больший, R_1 — R_{10} — делитель напряжения. Сопротивления резисторов делителя могут выбираться в пределах 51—150 *ом*, но все они должны иметь одинаковый номинал и допуск ±5%.

Регулировкой переменного резистора R_{11} схемы (рис. 25) устанавливают по образцовому вольтметру V напряжение 1 *в*. Вольтомметр включают на предел 1 *в* и присоединяют его щупы к точкам *0* и *5* схемы, изображенной на рис. 25. Изменяя сопротивление резистора R_{13} в схеме, показанной на рис 20, *а*, устанавливают отклонение стрелки вольтомметра на половину шкалы напряжений. Затем переключают щупы к точкам *0* и *10* схемы, представленной на рис. 25. Если при этом стрелка вольтомметра не достигает конца шкалы (или выходит за ее пределы), то следует увеличить (или уменьшить) сопротивление резистора R_{14} в схеме, изображенной на рис. 20, *а*, до отклонения стрелки на всю шкалу.

Попеременным повторением операций, описанных в предыдущем абзаце, добиваются соответствующих отклонений стрелки при подключениях вольтомметра к точкам *5* и *10* схемы (рис. 25). Регулировка заканчивается, когда подобраны такие значения R_{13} и R_{14}, при которых отклонение стрелки на всю шкалу происходит при подключении вольтомметра к точкам *0* и *10*, а на половину шкалы — к точкам *0* и *5*. Регулировку удобно производить, временно включив в качестве R_{13} и R_{14} переменные резисторы, сопротивления которых затем измеряются и заменяются постоянными.

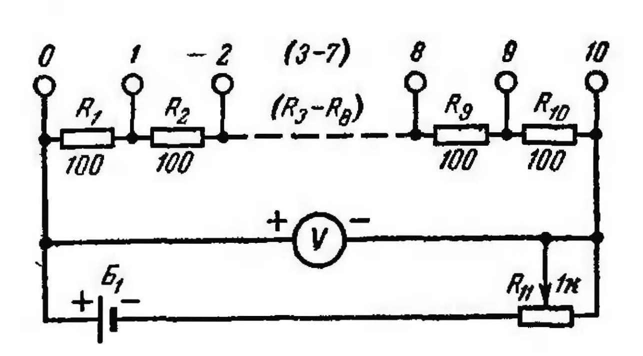


Рис. 25. Вспомогательная схема для регулировки вольтомметра.

Для окончательной проверки линейности вольтомметр подключают поочередно к точкам *1*, *2*, ..., *9*, *10* схемы (рис. 25). При этом показания прибора должны равняться соответственно 0,1; 0,2;.. 0,9; 1 *в*. Если будет обнаружена нелинейность в начале шкалы напряжений, то следует уточнить установку ее нуля путем более тщательного подбора сопротивления резистора R_1 в схеме, изображенной на рис. 20, *а*.

С помощью схемы, изображенной на рис. 25, осуществляется также установка предела 0,5 *в*. Вольтомметр переключают на этот предел, присоединяют его к точкам *0* и *5* и подбирают сопротивление резистора R_2 в схеме, показанной на рис. 20, *а*, до отклонения стрелки на всю шкалу.

Установка остальных пределов измерения постоянного напряжения не имеет каких-либо особенностей и производится так же, как и при налаживании авометра, описанного в § 17. Для установки предела 1 000 *в* нет необходимости располагать источником такого напряжения. Достаточно включить вилки высоковольтного щупа в гнезда *2* и *10* вольтомметра и подобрать сопротивление резистора R_{16} (рис. 20, *б*) до отклонения стрелки прибора на всю шкалу при напряжении на щупе, равном 500 *в*. При включении же вилок щупа в гнезда *8* и *10* резисторы R_{16} и R_9 окажутся соединенными последовательно, что соответствует пределу измеряемого напряжения 1 000 *в*.

Налаживание высокочастотного пробника (рис. 20, *в*) заключается в подборе сопротивления резистора R_{17}. При указанном на схеме сопротивлении этого резистора стрелка прибора откло-

няется на всю шкалу, если напряжение высокой частоты на входе пробника равно 1 *в* $\pm10\%$. Более точная установка предела измерения высокочастотного напряжения возможна с помощью генератора стандартных сигналов типа Г4-1А (ГСС-6А), при наличии которого можно также проградуировать шкалу прибора в значениях высокочастотного напряжения. Опыт показал, что на участке 0,2—1 *в* она практически совпадает с одновольтовой шкалой постоянного напряжения и поэтому нет необходимости наносить на шкалу дополнительные отметки.

При невозможности воспользоваться генератором стандартных сигналов придется ограничиться установкой в высокочастотном пробнике резистора R_{17} с сопротивлением 62 *ком* и допуском $\pm5\%$, что обеспечит измерение высокочастотных напряжений с погрешностью $\pm10\%$ (приведенной к концу шкалы). Отсчет высокочастотного напряжения следует вести по одновольтовой шкале постоянного напряжения.

Градуировка шкалы сопротивлений описана в § 17. На шкалу сопротивлений наносятся отметки 0, 5, 10, 20, .., 90 *ком* и 0,1; 0,2; ... 0,5; 0,7; 1; 2 *Мом*. Большего количества отметок наносить не нужно, так как измерение сопротивлений с погрешностью примерно $\pm10\%$ достаточно для практических целей, а излишние отметки и надписи, не улучшая точности измерений, сделают шкалу неудобочитаемой.

Эксплуатация. Описываемый вольтомметр позволяет измерять постоянные напряжения в высокоомных цепях, например в цепях анодов и экранных сеток радиоламп, работающих в различной аппаратуре. В большинстве случаев оказывается возможным также измерение напряжений в цепях смещения, автоматической регулировки усиления приемников и в других цепях, содержащих высокоомные сопротивления. Наличие низковольтных пределов делает вольтомметр весьма удобным для измерения напряжений в транзисторной аппаратуре.

Напряжение высокой частоты измеряется на одновольтовом пределе, поскольку большинство измерений, связанных с настройкой радиоприемной аппаратуры (настройка контуров, проверка сопряжения, регулировка полосы пропускания), как правило, производится при малом уровне сигнала. Необходимость в измерении больших напряжений, порядка десятков и сотен вольт, может возникнуть при налаживании радиопередатчиков. Однако в этом случае требуется не измерение абсолютной величины напряжения, а его относительных изменений (например, при настройке контуров в каскадах умножения частоты передатчика, подборе оптимальной связи выходного каскада с антенной и т. п.). Такие измерения можно производить с помощью вольтомметра, если подключать высокочастотный пробник к гнездам *4—8* и *10*, причем пределы измерения напряжений имеют тот же порядок, что и постоянных напряжений, соответствующих выбранным гнездам.

При соединении высокочастотного пробника с объектом измерения необходимо учитывать, что напряжение, приложенное к разделительному конденсатору C_1 на входе пробника, равно сумме постоянного и переменного напряжений на объекте. Например, если амплитуда переменного напряжения на колебательном контуре, включенном в анодную цепь лампы передатчика, равна 150 *в*, а постоянное напряжение относительно шасси равно 250 *в*, то максимальное напряжение между анодом лампы и шасси составляет 400 *в*. Присоединение пробника к этим точкам небезопасно, так как может

пробиться его разделительный конденсатор, а затем и диоды. В данном случае во избежание выхода пробника из строя следует включать его параллельно контуру, чтобы исключить действие постоянной составляющей анодного напряжения.

Пределы измерения сопротивлений, обеспечиваемые вольтомметром, достаточны для проверки резисторов, устанавливаемых в большинстве цепей радиоаппаратуры. Сопротивления этих резисторов могут быть измерены с удовлетворительной для любительской практики точностью.

Кроме основного назначения, описываемый прибор может использоваться также в качестве чувствительного микроамперметра, для чего гнезда *9* и *10* включаются в разрыв цепи измеряемого тока. При таком включении прибор позволяет измерять слабые токи (порядка 15—20 *мка* на всю шкалу) и может применяться, например, в качестве индикатора равновесия мостовых схем.

Глава пятая

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИСТОРОВ

19. Испытатель транзисторов

Испытатель транзисторов позволяет проверять транзисторы типов р-п-р и п-р-п на отсутствие обрывов и коротких замыканий в цепях электродов и измерять их коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером в пределах 0—50—100. Испытатель питается от одной батареи типа КБС-Л-0,5 или трех элементов типа 332 (ФБС-0,25). Габариты испытателя 130×70×50 мм, вес 470 г.

Принципиальная схема испытателя транзисторов изображена на рис. 26. Она состоит из источника $Б_1$, кнопки $Кн_{1а}$ — $Кн_{1б}$ для его включения, миллиамперметра *mA*, зажимов *1—4* для присоединения испытываемого транзистора и кнопки $Кн_{2а}$—$Кн_{2б}$, коммутирующей резисторы R_2 и R_5 в цепи его базы.

Для испытания транзистора типа *р-п-р* его эмиттер, база и коллектор присоединяются соответственно к зажимам *1*, *2* и *3*. Конструктивное устройство кнопки $Кн_{1а}$—$Кн_{1б}$ таково, что при неполном ее нажатии замыкается только $Кн_{1а}$, а при полном — также $Кн_{1б}$. Поэтому при неполном нажатии кнопки последовательно с источником питания включается ограничительный резистор R_3, сопротивление которого выбрано таким образом, чтобы в случае замыканий между базой и коллектором или между эмиттером и коллектором испытываемого транзистора ток через миллиамперметр не превышал 1 *ма* Отклонение стрелки миллиамперметра на всю шкалу при неполностью нажатой кнопке свидетельствует о замыканиях между указанными электродами транзистора. Если же имеет место замыкание между базой и эммиттером транзистора, то регистрируемый миллиамперметром ток близок к нулю. Обрывы в цепях эмиттера или коллектора также проявляются отсутствием тока через миллиамперметр. В случае же обрыва в цепи базы через миллиамперметр

может протекать незначительный ток, величина которого обычно самопроизвольно изменяется со временем.

Если замыканий и обрывов в цепях электродов испытываемого транзистора не будет обнаружено, то переходят к измерению его коэффициента усиления по току в схеме с общим эмиттером, которое производится путем измерения коллекторного тока при фиксированном токе базы (см. § 13). Для измерения коэффициента усиления кнопка $Кн_{1а}$ — $Кн_{1б}$ нажимается до отказа и ограничительный резистор R_3 закорачивается. Поскольку сопротивление цепи R_4R_5 значительно больше прямого сопротивления эмиттерного перехода транзистора, ток его базы зависит лишь от сопротивлений резисторов R_1 и R_2. При этом схема испытателя принимает вид, упрощенно показанный на рис. 27, *а*.

Сумма сопротивлений резисторов R_1 и R_2 такова, что ток базы испытываемого транзистора равен 10 *мка* и отклонению стрелки миллиамперметра на всю шкалу (1 *ма*) соответствует коэффициент усиления В = 100. Для изменения предела измерения нажимается кнопка $Кн_{2а}$ — $Кн_{2б}$, резистор R_2 закорачивается, ток базы увеличивается до 20 *мка* и отклонению стрелки миллиамперметра на всю шкалу соответствует коэффициент усиления В = 50.

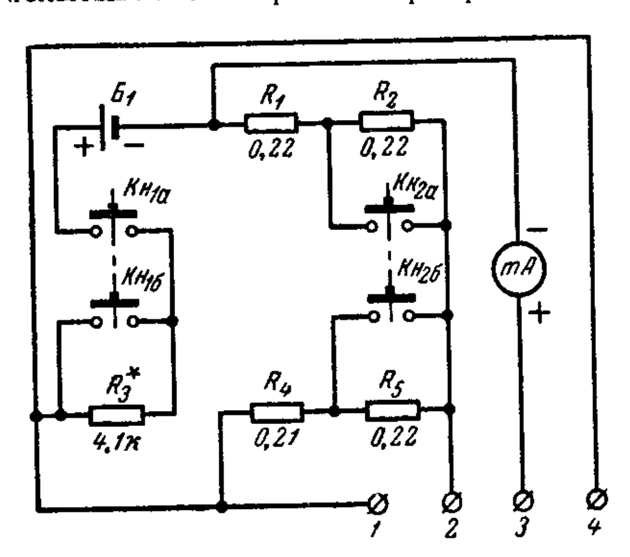


Рис. 26. Принципиальная схема испытателя транзисторов.

Если соединить между собой зажимы *1* и *2*, то база транзистора окажется подключенной к его эмиттеру и миллиамперметр покажет начальный ток коллектора, который для доброкачественных экземпляров транзисторов должен быть близок к нулю.

Для испытания транзистора типа *п-р-п* его эмиттер, база и коллектор присоединяются соответственно к зажимам *3*, *2* и *1*. Проверка на отсутствие замыканий и обрывов в цепях электродов производятся так же, как и для *р-п-р*-транзисторов, при неполном нажатии кнопки $Кн_{1а}$ — $Кн_{1б}$.

Ток базы *п-р-п*-транзистора зависит от сопротивления резисторов R_4 и R_5, а влиянием резисторов R_1 и R_2, которые оказываются присоединенными параллельно открытому эмиттерному переходу транзистора, можно пренебречь. Упрощенная схема испытателя для этого случая приведена на рис. 27, *б*, из которого следует, что измерение коэффициента усиления транзистора типа *п-р-п* происходит в схеме с общим коллектором. Однако коэффициент усиления по току в схеме с общим коллектором приближенно равен коэффициенту усиления в схеме с общим эмиттером (см. § 13), что позволяет иметь общую градуировку шкалы прибора для транзисторов с обоими типами проводимости.

Напряжение, приложенное к цепи R_4R_5, меньше напряжения источника питания на величину падения напряжения на сопротивлении рамки миллиамперметра. Поэтому ток базы оказывается

зависящим от тока эмиттера, но благодаря малости падения напряжения на миллиамперметре связанное с этим уменьшение точности измерения коэффициента усиления транзисторов типа *п-р-п* невелико. Для сохранения правильности показаний прибора при изменении предела измерения сопротивление резистора R_4 выбрано так, что при эмиттерном токе 0,5 *ма* (середина шкалы миллиамперметра) ток базы равен 10 *мка*, если кнопка $Кн_{2а}$ — $Кн_{2б}$ разомкнута, и 20 *мка*, если она замкнута. При этом дополнительная погрешность измерения коэффициента усиления транзисторов типа *п-р-п* по сравнению с транзисторами типа *р-п-р* не превышает 5% в любой точке шкалы на обоих пределах измерения.

Проверить начальный ток коллектора транзистора типа *п-р-п* можно, соединив между собой зажимы *2* и *3*. В случае исправности транзистора показания миллиамперметра должны быть близки к нулю.

Незначительное уменьшение точности измерения коэффициента усиления транзисторов типа *п-р-п* компенсируется упрощением схемы испытателя за счет исключения из нее переключателей полярности источника питания и миллиамперметра, имеющихся в аналогичных приборах.

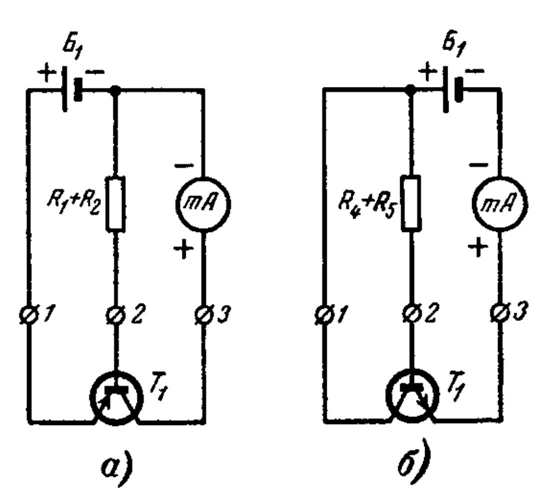


Рис. 27. Упрощенные схемы испытателя.

а — при испытании *р-п-р* транзисторов; *б* — при испытании *п-р-п* транзисторов.

Дополнительный зажим *4*, соединенный с зажимом *1*, облегчает присоединение к испытателю транзисторов с различным расположением выводов. Например, базу, коллектор и эмиттер транзисторов типов П422—П423 можно подключать соответственно к зажимам *2*, *3* и *4*, не прибегая к изгибанию выводных проводников, которое могло бы привести к механическому повреждению транзисторов.

Контроль напряжения источника питания осуществляется при соединенных между собой зажимах *3* и *4* и неполном нажатии кнопки $Кн_{1а}$ — $Кн_{1б}$. В этом случае измерительный прибор является вольтметром, а R_3 — добавочным резистором. Отклонение стрелки прибора при контроле напряжения должно составлять не менее 0,9 длины его шкалы, в противном случае напряжение источника питания недостаточно для выполнения измерений и он подлежит замене.

Детали. В испытателе применен миллиамперметр типа М20 с током полного отклонения 1 *ма* и сопротивлением рамки 350 *ом*. Шкала миллиамперметра имеет 20 делений, цена которых равна 5 при измерении коэффициента усиления на пределе 0—100 или 2,5 — при измерении на пределе 0—50. Возможно применение других измерительных приборов, но в таком случае сопротивления всех резисторов схемы должны быть соответственно изменены. Например, при установке в испытателе микроамперметра с током полного отклонения 500 *мка* сопротивления резисторов R_1 — R_5 должны быть увеличены в 2 раза по сравнению с указанными на схеме, изображенной на рис. 26.

В испытателе могут применяться резисторы любого типа, желательно с допуском ±5%. Для облегчения подбора сопротивлений в процессе налаживания испытателя резисторы могут составляться из двух, соединяемых последовательно.

Устройство кнопок $Кн_{1а}$ — $Кн_{1б}$ и $Кн_{2а}$ — $Кн_{2б}$ и зажимов *1—4* описано ниже.

Конструкция и монтаж. Испытатель транзисторов смонтирован в пластмассовом корпусе размерами 130 × 70 × 38 *мм*, на верхней крышке которого (рис. 28) расположены миллиамперметр *mA*, головки кнопок $Кн_{1а}$ — $Кн_{1б}$ и $Кн_{2а}$ — $Кн_{2б}$ и зажимы *1—4* для присоединения испытываемых транзисторов. Надписи и обозначения выполнены на плотной бумаге, которая прижимается к верхней крышке прибора наличником из тонкого оргстекла.

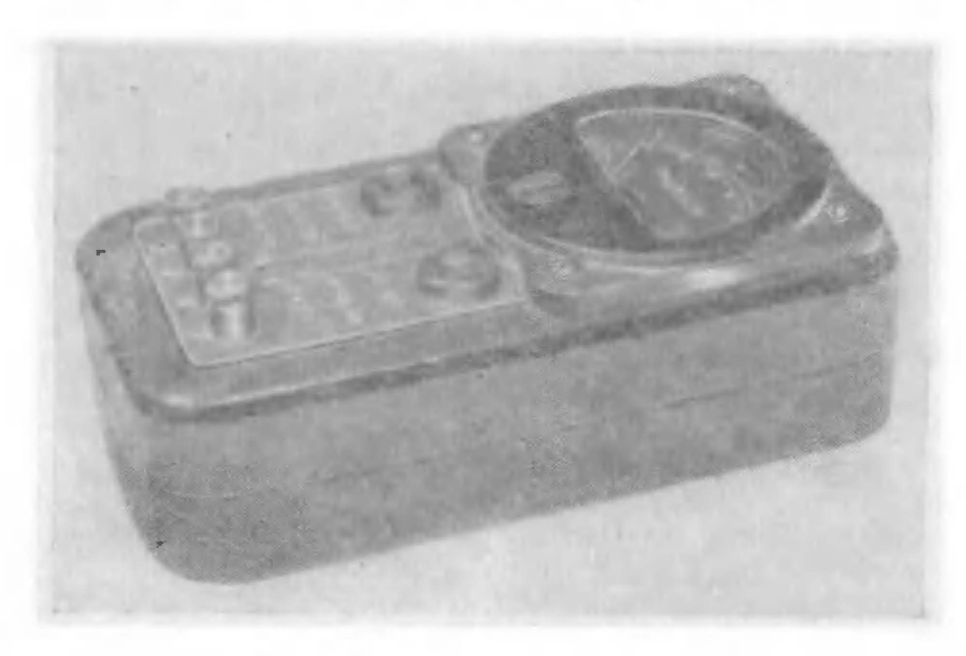


Рис. 28. Внешний вид испытателя.

К внутренней поверхности верхней крышки прикреплена гетинаксовая монтажная плата размерами 64 × 64 × 2 *мм*, два угла которой закруглены радиусом 12 *мм*. На монтажной плате располагаются контактные группы кнопок $Кн_{1а}$—$Кн_{1б}$ и $Кн_{2а}$—$Кн_{2б}$ и резисторы R_1 — R_5 (рис. 29). Батарея $Б_1$ вкладывается в корпус поверх перечисленных деталей, и ее положение фиксируется резиновым упором.

Контактные группы кнопок изготовлены из пружин от реле, между которыми проложены гетинаксовые прокладки (рис.30, *а*), и привинчены к монтажной плате винтами М3. Во избежание замыканий между пружинами на винты надеты трубки из изоляционного материала, в крайнем случае из нескольких слоев бумаги, проклеенной клеем БФ-2 или полистирольным клеем. Для изготовления контактных групп достаточно иметь по три пружины на каждую кнопку, так как два контакта в каждой группе общие (например, правые по схеме на рис. 26 контакты кнопки $Кн_{1а}$—$Кн_{1б}$). При распайке пружин этой кнопки необходимо, чтобы верхняя (на рис. 30, *а*) пружина соединялась с положительным полюсом батареи $Б_1$, средняя — с резистором R_3, а нижняя — с зажимом *1*. При таком порядке распайки неполное нажатие на головку кнопки вызывает

замыкание контактов $Кн_{1а}$ (верхняя пружина соединяется со средней), а при нажатии до отказа происходит замыкание контактов $Кн_{1б}$ (средняя пружина соединяется с нижней). Такая очередность замыканий соответствует установленной последовательности испытаний транзистора: сначала проверяется отсутствие коротких замыканий между электродами и обрывов в их цепях, а затем измеряется коэффициент усиления транзистора. Указанный порядок выполнения измерений предохраняет миллиамперметр от перегрузки и возможного повреждения при включении в схему испытателя пробитого транзистора.

Конструкция зажимов *1—4* для присоединения транзисторов к испытателю показана на рис. 30, *б*. Зажим представляет собой металлический цилиндр со сквозной внутренней резьбой М3, привинчиваемый к верхней крышке испытателя винтом, который одновременно служит для скрепления корпуса с монтажной платой, а также для электрического соединения зажима со схемой прибора.

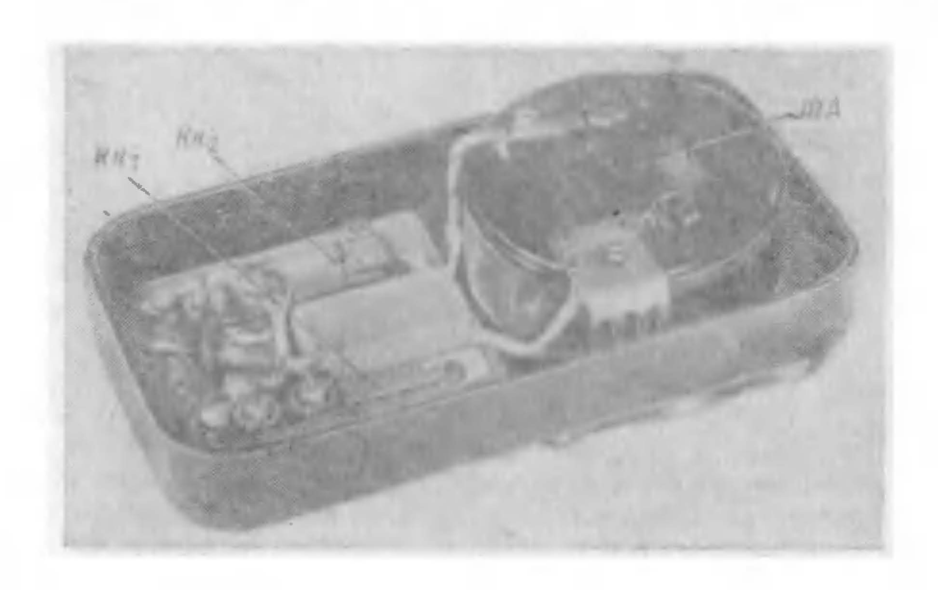


Рис. 29. Монтаж испытателя.

При измерениях вывод транзистора вводится в радиальное отверстие зажима и закрепляется винтом с накатанной головкой. В случае необходимости испытания транзисторов со специальными выводами (например, типов П410—П411 и т. п.) или транзисторов с укороченными выводами они присоединяются к испытателю удлинительными проводниками. Один конец удлинительного проводника снабжен зажимом «крокодил» для присоединения к выводу транзистора, другой — подключается к соответствующему зажиму испытателя.

Для соединения схемы испытателя с батареей $Б_1$ служат два упругих контакта, один из которых крепится непосредственно к клемме «—» миллиамперметра, а другой — к пружине кнопки $Кн_{1а}$.

Электрический монтаж испытателя выполнен проводом в полихлорвиниловой изоляции.

Налаживание. Контроль питающего испытатель напряжения производится вольтметром, в качестве которого применяется установленный в нем миллиамперметр с резистором R_3, выполняющим при контроле напряжения функции добавочного резистора.

Поскольку от поддержания напряжения питания в допустимых пределах зависит точность производимых с помощью испытателя измерений, сопротивление резистора R_3 должно быть подобрано при налаживании прнбора. Для этого прнсоединяют к испытателю свежую батарею типа КБС-Л-0,5 или три соединенных последовательно элемента типа 332 (ФБС-0,25), замыкают между собой зажимы *3* и *4* и подбирают сопротивление резистора R_3 так, чтобы при неполном нажатии кнопки $Кн_{1а}$ — $Кн_{1б}$ стрелка миллиамперметра отклонялась на всю шкалу. Подгонку сопротивления удобнее производить, если составить R_3 из двух последовательно включенных резисторов: основного — на 3,9 *ком* и подбираемого — в пределах 100—300 *ом*.

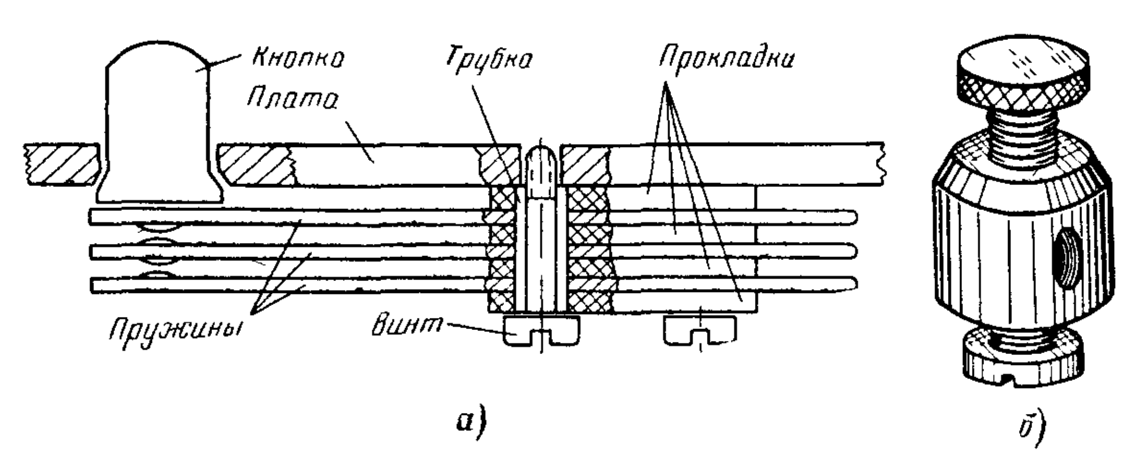


Рис. 30. Детали испытателя.

а — кнопка; *б* — зажим

При желании пределы измерения коэффициента усиления транзисторов могут быть изменены. Для этого достаточно изменнть сопротивления резисторов R_1, R_2, R_3 и R_4 пропорционально изменению пределов. Например, для получения пределов измерения 0—100—200 сопротивления указанных резисторов должны быть удвоены.

Эксплуатация. При испытании транзисторов каждой серии измерений, особенно после длительного хранения прибора в бездействующем состоянии, должна предшествовать проверка напряжения питания, осуществляемая описанным выше способом. На период длительного хранения прибора без употребления рекомендуется извлекать нз него батарею КБС-Л-0,5, так как в случае ее частичного разрушения выделяющиеся при этом вещества могут повредить детали и монтаж прибора.

Прн нспытании транзисторов необходимо внимательно следнть за правильностью подключения их выводов к зажимам прибора. При ошнбочном включении транзистор может выйти из строя. В особенности это относится к диффузионным транзнсторам (например, типов П422—П423 и др.), которые прн неправильном включении могут испортиться вследствие пробоя переходов. Нажимать кнопку $Кн_{1а}$ — $Кн_{1б}$ можно, только удостоверившись в правильности подключения транзистора к испытателю. Еслн при нзмеренин коэффициента усиления на пределе 0—100 стрелка отклоняется менее, чем на половину шкалы, то для повышения точности измерений следует перейти на предел 0—50, которому соответствует нажатие кнопкн $Кн_{2а}$ — $Кн_{2б}$.

20. Прибор для проверки транзисторов

Прибор предназначен для проверки исправности транзисторов типов р-п-р и п-р-п и измерения их коэффициентов усиления на переменном токе. Пределы измерения коэффициента усиления по току в схеме с общим эмиттером 5—200. Прибор питается от одного элемента типа 332 (ФБС-0,25). Габариты прибора 115×65×50 мм, вес 300 г.

Прииципиальная схема. Измерение коэффициента усиления в описываемом приборе осуществляется на переменном токе в режиме генерации. Для упрощения и удешевления прибора в нем применяется индикатор на неоновой лампе, благодаря чему отпадает необходимость в миллиамперметре. Принципиальная схема прибора для проверки транзисторов приведена на рис. 31.

При проверке транзистора типа *р-п-р* переключатель $П_{1а}$ — $П_{1б}$ переводится в нижнее (по схеме) положение, и выводы коллектора, базы и эмиттера испытываемого транзистора присоединяются соответственно к гнездам $к_1$, $б_1$ и $э_1$ прнбора. Вторая группа гнезд — $б_2$, $к_2$ и $э_2$ облегчает подключение к прнбору транзисторов с другим расположением выводов. После присоединения транзистора замыкается выключатель $Вк_1$ и схема приобретает вид, изображенный на рис. 32.

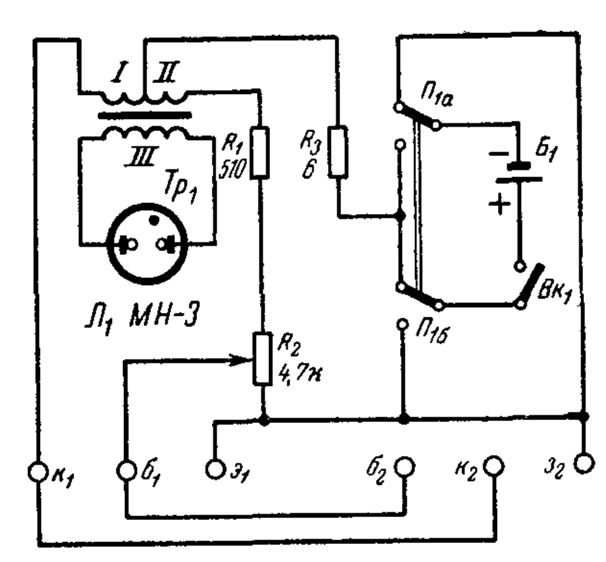


Рис. 31. Принципиальная схема прибора для проверки транзисторов.

Как следует из схемы, изображенной на рис. 32, прнбор представляет собой собранный по трехточечной схеме транзисторный генератор, колебательный контур которого образован обмотками *I* и *II* трансформатора $Тр_1$, его распределенной емкостью и межэлектродными емкостями проверяемого транзнстора T_1. Генерация в схеме поддерживается благодаря положительной обратной связн, поступающей с обмотки *II* трансформатора $Тр_1$ через делитель напряжения R_1R_2 на базу транзистора T_1.

Амплитуда генерируемых колебаний зависнт от глубины обратной связи и от коэффициента усиления проверяемого транзистора. Изменяя с помощью переменного резистора R_2 глубину обратной связи, можно регулировать амплитуду колебаний: верхнему (по схеме) положению ползунка резистора R_2 соответствует максимальная амплитуда, а перемещение ползунка вниз влечет за собой уменьшение амплитуды колебаний, вплоть до их срыва.

Неоновая лампа $Л_1$, присоединенная к обмотке *III* трансформатора $Тр_1$, является индикатором колебаний в схеме генератора. При перемещении ползунка резистора R_2, снабженного ручкой со шкалой, вниз свеченне лампы ослабевает и при некотором его положенни прекращается. Это означает, что при данном положенин ползунка амплитуда колебаний соответствует напряжению на обмотке *III*, равному напряжению погасания лампы, которое для

каждого экземпляра лампы постоянно. Таким образом, перемещая ползунок резистора R_2, можно зафиксировать погасание лампы, при котором амплитуда колебаний генератора имеет определенную величину.

Очевидно, для различных транзисторов погасание лампы будет происходить при различных положениях ползунка резистора R_2: чем больше коэффициент усиления проверяемого транзистора, тем меньшее напряжение положительной обратной связи необходимо для поддержания амплитуды колебаний, соответствующей погасанию лампы $Л_1$. Поэтому шкала резистора R_2 может быть проградуирована в единицах коэффициента усиления транзистора, причем верхнему (по схеме) положению ползуика резистора R_2 соответствует наименьшее значение коэффициента усиления, а перемещению его вниз — возрастающие значения. Определить значения коэффициента усиления транзистора для различных положений ползунка резистора R_2 можно расчетиым путем, однако в любительских условиях проще проградуировать шкалу резистора по транзисторам с известными коэффициентами усиления.

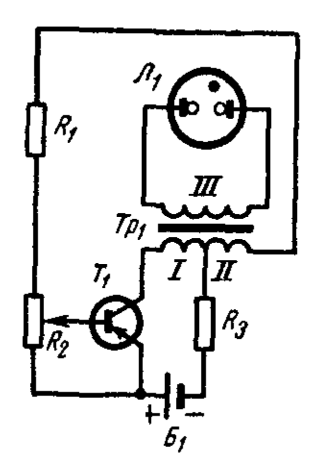


Рис. 32. Упрощенная схема прибора.

Резистор R_1 ограничивает постоянную составляющую тока базы транзистора T_1, а также несколько растягивает шкалу прибора. Благодаря иаличию в схеме резистора R_3 предотвращается протекание через обмотку I трансформатора $Тр_1$ чрезмерно большого тока, который мог бы возникиуть при подключении к прибору транзистора, имеющего замыкание между коллектором и эмиттером или между коллектором и базой. В случае такой неисправности проверяемого транзистора резистор R_3 ограничивает ток до величины, безопасной для трансформатора $Тр_1$ и источника питания $Б_1$.

От глубины положительной обратной связи, устаиавливаемой резистором R_2, зависят ие только амплитуда, ио также частота и форма генерируемых в схеме прибора колебаний. В описываемом приборе параметры трансформатора $Тр_1$ выбраны таким образом, что при амплитуде колебаний, соответствующей погасанию лампы $Л_1$, напряжение на коллекторе траизистора T_1 имеет частоту порядка 50 *кгц* и форму, близкую к сииусоидальной. Благодаря этому измерение коэффициента усилеиия транзисторов происходит в условиях, приближающихся к реальным режимам их работы в практических схемах: усилительных, генераторных, преобразовательных и др.

Для проверки транзисторов типа *п-р-п* переключатель $П_{1а}$ — $П_{1б}$ следует установить в верхнее (по схеме) положение, что обеспечит иужиую поляриость включеиия нсточника $Б_1$ в схему проверки.

Детали. Для подключения к прибору проверяемых транзисторов используются две транзисторные паиельки, одна из которых обозначена на схеме рис. 31: $к_1$, $б_1$, $э_1$, а другая: $б_2$, $к_2$, $э_2$. При отсутствии паиелек можно заменить их зажимами любой коиструкции, например, описанными в § 19. Самостоятельное изготовление траизисторных панелек ие рекомендуется, так как самодельные панельки могут ие обеспечить надежных контактов в течение длительной эксплуатации прибора.

Переменный резистор R_2 может быть типа СП-2 или ВК-0,5. Применение малогабаритных резисторов типа СПО-0,5 нецелесообразно, поскольку вследствие частого вращения контакт между ползунком резистора и его токопроводящим слоем вскоре ухудшается, что приводит к возрастанию погрешности измерения коэффициента усиления в процессе эксплуатации прибора.

Резистор R_1 может быть любого типа. Резистор R_3 наматывается манганиновым проводом на резисторе типа МЛТ-0,5, используемом в качестве каркаса.

Переключатель $П_{1а}$ — $П_{1б}$ — типа ТП1-2, выключатель $Вк_1$ — типа ТВ2-1. Вместо них можно использовать двухсекциоиный галетный переключатель на три положения, который должен соединяться со схемой так, чтобы в среднем положении элемент $Б_1$ отключался от нее, а в крайних — подключался во взаимио противоположных полярностях.

Неоиовая лампа типа МН-3 выбрана благодаря наименьшему по сравнению с другими типами напряжению зажигания. С несколько худшими результатами можио использовать лампы типа МН-6 или МН-8 (ТН-0,2).

Наиболее ответственной деталью прибора является трансформатор $Тр_1$, от тщательности изготовлеиия которого зависит надежность работы схемы. Примененный в приборе трансформатор намотан на кольце из феррита марки 1000НН (Ф-1000) с наружным диаметром 10 *мм*, внутренним — 6 *мм* и высотой 5 *мм*. Обмотки трансформатора имеют следующие даииые: I — 35 витков провода ПЭВ 0,1; II — 70 витков провода ПЭВ 0,1; III — наматывается проводом ПЭВ 0,08 до заполнения кольца. Намотка производится с помощью проволочного челнока длиной 50—60 *мм*. Выводы обмоток сделаны тем же проводом, что и сами обмотки, сложенным в несколько раз во избежание случайного обрыва при монтаже прибора. Целесообразно надеть на выводы разноцветные полихлорвиниловые трубки, которые увеличивают прочность выводов и предотвращают возможные ошибки при их распайке. Готовый трансформатор пропитывается густым полистирольным клеем, получаемым путем растворения кусочков полистирола в бензоле.

При отсутствии подходящего ферритового кольца можно намотать трансформатор на броиевом сердечнике из феррита марки 600НН (Ф-600), составленном из двух чашек наружным диаметром 11 *мм* и высотой 5 *мм* каждая (пригодны сердечники от фильтров промежуточной частоты радиоприемника «Спидола»). Данные обмоток остаются без изменений.

В крайнем случае сердечником трансформатора может служить стержень из феррита марки 600НН (Ф-600) диаметром 8 *мм* и длиной 50 *мм* (часть стержия от магнитной антенны). Данные обмоток для этого варианта таковы: I — 50 витков провода ПЭВ 0,2; II — 100 витков провода ПЭВ 0,2; III — 2 500 витков провода ПЭВ 0,05—0,08, намотанных «внавал» по всей длине стержня поверх предыдущих обмоток. При использовании в приборе трансформатора со стержневым сердечником сопротивления резисторов R_1 и R_2 должны быть уменьшены в 3—5 раз по сравнению с указанными на схеме рис. 31. Пределы измерения коэффициента усиления транзисторов при этом несколько сужаются.

Конструкция и монтаж. Прибор смонтирован в металлическом корпусе, имеющем размеры 115 × 65 × 35 *мм*, со съемной верхней крышкой, которая служит панелью прибора. На панели располо-

жены (рис. 33) две транзисторные панельки, ручка и шкала переменного резистора R_2, ручки переключателя $П_{1а} — П_{1б}$ и выключателя $Вк_1$, а также отверстие, через которое наблюдают за свечением лампы $Л_1$.

Внутри верхней крышки корпуса находится монтажная плата размерами $100 \times 58 \times 2$ *мм*. Крепление платы осуществляется следующим образом: в отверстия платы вставляются втулки переменного резистора, переключателя и выключателя, на которые навинчиваются гайки, после чего втулки пропускаются через отверстия в верхней крышке корпуса и привинчиваются к ней гайками. При

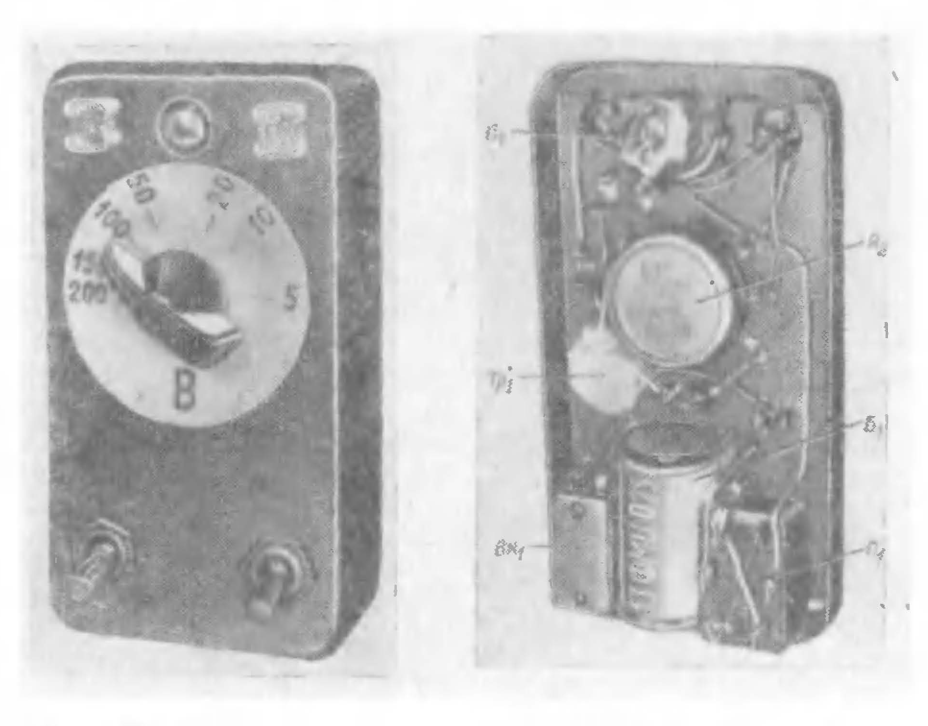


Рис. 33. Внешний вид прибора.

Рис. 34. Монтаж прибора.

таком способе установки платы не требуется дополнительных крепежных деталей. Кроме того, между платой и металлической крышкой образуется зазор около 3 *мм*, который предотвращает замыкание на крышку заклепок монтажных лепестков, расклепанных на плате (рис. 34). На этих лепестках распаиваются выводы трансформатора и резисторы. Трансформатор укладывается в отверстие диаметром 15 *мм* в монтажной плате и приклеивается к ней полистирольным клеем. При распайке выводов трансформатора необходимо проследить за тем, чтобы не перепутать между собой выводы его обмоток *I* и *II*, так как в случае такой ошибки генерация может иметь место, но прибор будет работать значительно хуже, чем при правильном включении обмоток.

Элемент $Б_1$ располагается между выключателем и переключателем и крепится к монтажной плате с помощью держателя, изготовленного в соответствии с рис. 18, *а*, *б*. Неоновая лампа $Л_1$ установлена перпендикулярно плате в цилиндрическом держателе, изогнутом из тонкой жести и приклепанном к плате. Для уменьшения высоты прибора лампа расцоколевана, а ее выводы наращены тонкими изолированными проводниками, которые припаяны к монтажным лепесткам. Баллон лампы проходит через отверстие диаметром 15 *мм* в монтажной плате, и купол баллона касается отверстия диаметром 10 *мм* в верхней крышке корпуса. Такое расположение лампы удобно для наблюдения за ее свечением и одновременно устраняет облучение ее посторонними источниками света.

Электрический монтаж прибора выполнен проводом в полихлорвиниловой изоляции.

Налаживание. После окончания монтажа прибора и проверки его правильности испытывают работоспособность генератора. Для этого вставляют в панельку исправный транзистор, устанавливают переключатель полярности в соответствии с его типом и включают прибор. Вращая ручку переменного резистора, наблюдают за свечением неоновой лампы. При вращении ручки переменного резистора свечение лампы постепенно ослабляется, и при некотором положении ручки она гаснет. Описанное явление свидетельствует о исправной работе прибора.

Для градуировки шкалы прибора необходимо иметь несколько транзисторов, коэффициенты усиления которых должны быть предварительно измерены образцовым прибором. Желательно, чтобы эти измерения были произведены на переменном токе, для чего можно воспользоваться, например, испытателем транзисторов типа Л2-1 (ИПТ-1), показания которого (значения α) пересчитываются по формуле (36) в значения В.

Присоединив один из транзисторов с известным коэффициентом усиления к налаживаемому прибору, включают его и, медленно вращая ручку переменного резистора, следят за изменением свечения неоновой лампы. Положение ручки, при котором лампа погасает, отмечают на шкале и наносят на нее величину коэффициента усиления данного транзистора. Таким же образом наносят на шкалу значения коэффициентов усиления остальных транзисторов. Промежуточные значения коэффициентов усиления могут быть установлены путем приближенного деления промежутков шкалы между полученными ранее отметками.

В процессе градуировки и последующей эксплуатации прибора на неоновую лампу не должен падать яркий свет, например солнечный или прямой свет электрических ламп, так как под действием сильного освещения параметры неоновой лампы могут изменяться, что приведет к возрастанию погрешности измерений.

Эксплуатация. Измерения коэффициента усиления транзисторов производятся описанным выше методом. Для сохранения удовлетворительной точности измерений необходимо периодически проверять напряжение элемента $Б_1$ и своевременно заменять его свежим.

Помимо основного назначения, прибор может быть использован в качестве источника высокочастотных колебаний для проверки и налаживания радиоаппаратуры. При этом в одну из панелек прибора включается транзистор, желательно высокочастотный, а коллекторное гнездо другой панельки через конденсатор малой емкости соединяется с проверяемым радиоустройством. Включив прибор, увеличивают глубину положительной обратной связи поворотом ручки переменного резистора. В результате этого форма генерируемых колебаний становится резко отличной от синусоидальной, что приводит к появлению в напряжении генератора большого количества гармоник, спектр которых простирается до частот порядка 1 *Мгц*. Высокочастотные гармоники используются для ориентировочной проверки работы радиоустройства.

Глава шестая

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

21. Генератор сигналов

Генератор сигналов вырабатывает немодулированные и амплитудно-модулированные высокочастотные колебания в диапазоне 0,1—30 Мгц и колебания низкой частоты 1 000 гц. Диапазон генерируемых прибором частот перекрывается пятью поддиапазонами: I — 0,1—0,32 Мгц, II—0,32—1 Мгц, III — 1—3,2 Мгц, IV — 3,2—10 Мгц, V — 10—30 Мгц. Напряжение высокой частоты на выходе генератора плавно регулируется в пределах 0—0,1 в (эффективные значения). Частота модуляции равна 1 000 гц, коэффициент глубины модуляции 30%. Напряжение низкой частоты на выходе генератора: плавно регулируемое — в пределах 0—0,1 в и нерегулируемое — 0,3 в (эффективные значения). Нагрузка (объект измерения) может подключаться к выходам генератора как непосредственно, так и через выносной делитель напряжения. Генератор сигналов питается от одного элемента типа 332 (ФБС-0,25), потребляемый ток равен 3 ма. Габариты генератора 115×65×50 мм, вес 350 г.

Принципиальная схема. Генератор сигналов (рис. 35) состоит из генератора высокой частоты на транзисторе T_1, эмиттерного повторителя на транзисторе T_2, являющегося также модуляционным каскадом, и генератора низкочастотных модулирующих колебаний на транзисторе T_3.

Генератор высокочастотных колебаний собран на транзисторе T_1 типа П403А по схеме с индуктивной связью. Колебательный контур, включенный в цепь коллектора транзистора T_1, образован конденсатором переменной емкости C_4 и катушкой индуктивности L_2. Напряжение положительной обратной связи, возникающее на катушке L_1, приложено между базой и эмиттером транзистора T_1 через разделительный конденсатор C_2, сопротивление которого токам

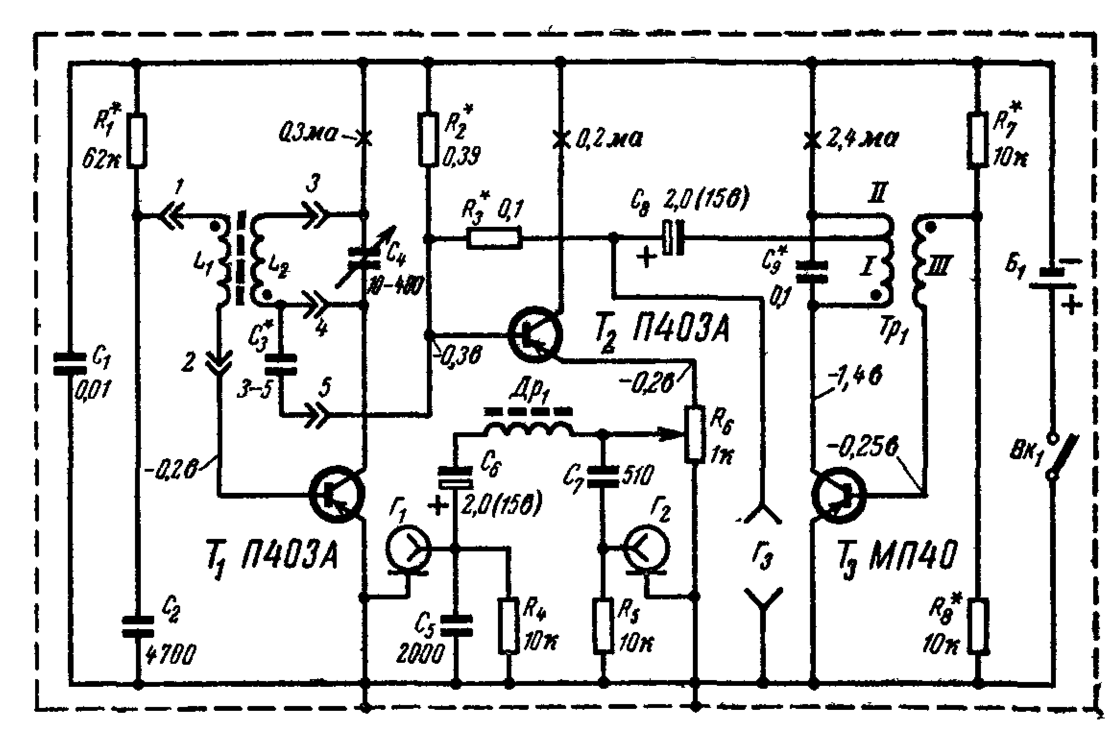


Рис. 35. Принципиальная схема генератора сигналов.

высокой частоты незначительно. Вследствие воздействия напряжения обратной связи на входную цепь транзистора T_1 в его коллекторной цепи протекают импульсы тока, энергия которых восполняет потери в колебательном контуре. При соответствующей глубине обратной связи энергия импульсов становится достаточной для полной компенсации потерь в контуре, а также энергии, потребляемой от генератора каскадом на транзисторе T_2, и в схеме генератора возникают незатухающие колебания. С помощью резистора R_1 устанавливается такая величина отрицательного смещения на базе транзистора T_1, при которой переменное напряжение на контуре C_4L_2 имеет величину порядка 1 *в* (эффективное значение) и практически синусоидальную форму.

Катушки L_1, L_2 и конденсатор связи с последующим каскадом C_3 — сменные для каждого из пяти поддиапазонов — подключаются к схеме генератора через контактный разъем *1—5*.

Благодаря надлежащему выбору режима транзистора T_1 и коэффициента связи между катушками L_1 и L_2 напряжение на колебательном контуре при перестройке частоты генератора изменяется незначительно и отклоняется от среднего уровня не более чем на 15—20%. Это позволяет, устанавливая необходимые значения емкости конденсатора связи C_3 (3—5 *пф* в зависимости от поддиапазона), подводить ко входу каскада на транзисторе T_2 практически одинаковые на всех поддиапазонах высокочастотные напряжения.

Применение в схеме генератора сигналов каскада на транзисторе T_2 обусловлено следующими соображениями. Чисто синусоидальное напряжение высокой частоты можно снять только с колебательного контура C_4L_2. Однако непосредственное подключение нагрузки к контуру резко увеличило бы потери в нем и повлекло за собой значительное возрастание нестабильности частоты и амплитуды генерируемых колебаний. Изменение величины и характера нагрузки приводило бы к расстройке генератора и даже к срыву его колебаний. Получение на низкоомной нагрузке синусоидального высокочастотного напряжения порядка 0,1 *в* оказалось бы возможным лишь ценой значительного ухудшения параметров генератора сигналов.

Для устранения или, по крайней мере, существенного ослабления влияния нагрузки на генератор между ними должен быть включен промежуточный (буферный) каскад, отбирающий от генератора по возможности минимальную мощность и усиливающий ее до необходимой величины. Кроме того, буферный каскад позволяет сравнительно просто осуществить в нем амплитудную модуляцию высокочастотных колебаний без ущерба для характеристик генератора. В принципе была бы возможна модуляция непосредственно в высокочастотном генераторе, но из-за влияния модулирующего напряжения на величину емкостей переходов транзистора T_1 амплитудная модуляция сопровождалась бы паразитной частотной модуляцией, что нежелательно.

Буферный каскад представляет собой эмиттерный повторитель (усилитель по схеме с общим коллектором) на транзисторе T_2 типа П403А. Основным преимуществом эмиттерного повторителя является его высокое входное сопротивление, что позволяет получить необходимое напряжение возбуждения буферного каскада за счет связи его с генератором высокой частоты посредством конденсатора C_3 весьма малой емкости. При этом колебательный контур генератора

практически не нагружается, благодаря чему обеспечивается достаточная стабильность высокочастотных колебаний.

К базе транзистора T_2 приложены высокочастотное напряжение, подаваемое через конденсатор C_3, напряжение низкой частоты, поступающее через цепь C_8R_3, и постоянное напряжение смещения, которое подается через резистор R_2 и необходимо для выбора рабочего участка на характеристике транзистора. Совместное действие указанных напряжений на базу транзистора T_2 приводит к тому, что высокочастотная составляющая тока его эмиттера оказывается промодулированной по амплитуде низкочастотными колебаниями. Поэтому напряжение, выделяющееся на нагрузочном резисторе R_6, который включен в цепь эмиттера транзистора T_2, также является амплитудно-модулированным. Малое выходное сопротивление эмиттерного повторителя позволяет нагружать его сравнительно низкоомным делителем выходного напряжения (1 *ком*), что благоприятно отражается на нагрузочных характеристиках генератора сигналов и практически устраняет наводки на его выходные цепи.

В промышленных генераторах сигналов и в некоторых любительских, кроме регулировки выходного напряжения, имеется возможность плавного изменения коэффициента глубины модуляции. Однако для этого требуется вводить в схему генератора органы регулировки глубины модуляций и стрелочный прибор для ее измерения. Поскольку для упрощенных испытаний и настройки радиолюбительских конструкций достаточно иметь высокочастотное модулированное напряжение с постоянным коэффициентом глубины модуляции (рекомендуемая величина его равна 30%), в описываемом приборе регулировка и измерение глубины модуляции не предусмотрены, что значительно упрощает его конструкцию.

Поскольку низкочастотная составляющая тока эмиттера транзистора T_2 также протекает через резистор R_6, то на нем выделяется и низкочастотное напряжение. Таким образом, с ползунка резистора R_6 можно одновременно снимать регулируемые низкочастотное и высокочастотное модулированное напряжения. Ввиду того что в некоторых случаях одновременное воздействие обоих этих напряжений на объект измерения нежелательно, в схеме генератора сигналов производится их разделение с помощью простейших фильтров, присоединенных к ползунку резистора R_6.

Г-образный фильтр $Др_1C_6C_5R_4$ пропускает к коаксиальному выходному гнезду $Г_1$ ток низкой частоты (1000 *гц*), для которого сопротивление цепи $Др_1C_6$ весьма незначительно по сравнению с сопротивлением цепи C_5R_4. Высокочастотная же составляющая тока не проникает к гнезду $Г_1$, так как для нее индуктивное сопротивление дросселя $Др_1$ велико, а емкостное сопротивление конденсатора C_5 мало. Конденсатор C_6 задерживает также постоянную составляющую тока, проникновение которой на объект измерения нежелательно.

Г-образный фильтр C_7R_5 предотвращает появление низкочастотной составляющей на выходном коаксиальном гнезде $Г_2$, так как для нее емкостное сопротивление конденсатора C_7 значительно больше сопротивления резистора R_5. Модулированное напряжение высокой частоты пропускается этим фильтром к гнезду $Г_2$ благодаря тому, что для высокочастотных токов емкостное сопротивление конденсатора C_7 мало по сравнению с сопротивлением резистора R_5.

Применение в генераторе сигналов описанных выше фильтров позволяет полностью разделить напряжения высокой и низкой частот и иметь для них отдельные выходные гнезда. Наряду с этим регулировка амплитуды обоих напряжений производится одним и тем же переменным резистором R_6, что упрощает конструкцию и облегчает эксплуатацию генератора сигналов. Шкала резистора R_6 градуируется в милливольтах выходного напряжения (эффективные значения), причем благодаря соответствующему выбору номиналов деталей C_3, R_3 и R_4, градуировка общая как для низкочастотного напряжения, так и для несущей высокочастотного напряжения.

Генератор низкочастотных колебаний собран по схеме с индуктивной связью на транзисторе T_3 типа МП40, в коллекторную цепь которого включен колебательный контур, образованный конденсатором C_9 и обмотками *I* и *II* трансформатора $Тр_1$. Напряжение положительной обратной связи поступает на базу транзистора T_3 с обмотки *III*, через которую подается также напряжение смещения, снимаемое со средней точки делителя R_7R_8. Выбором сопротивлений делителя устанавливается такой режим транзистора T_3, при котором синусоидальное напряжение на контуре генератора имеет величину порядка 1 *в* (эффективное значение). Часть этого напряжения (0,3 *в*) подается с обмотки *II* через конденсатор C_8 на гнезда $Г_3$ и далее — через резистор R_3 на буферный каскад, работа которого рассмотрена выше.

Отдаваемая генератором низкой частоты мощность весьма невелика, так как он погружен на высокое входное сопротивление буферного каскада, параллельно которому включен еще высокоомный резистор R_3. Эмиттерный повторитель на транзисторе T_2 играет роль буферного каскада не только по отношению к высокочастотному генератору, но и к низкочастотному. Поэтому изменения величины и характера нагрузки, присоединяемой к низкочастотному выходу прибора $Г_1$, совершенно не влияют на работу генератора низкочастотного напряжения. Кроме того, благодаря буферному действию эмиттерного повторителя коэффициент глубины модуляции высокочастотного напряжения на выходе $Г_2$ также оказывается не зависящим ни от сопротивления нагрузки, ни от амплитуды высокочастотного напряжения.

Для получения на выходе $Г_2$ немодулированного напряжения высокой частоты нужно замкнуть между собой гнезда $Г_3$. При этом колебания низкочастотного генератора срываются, так как конденсатор C_8 блокирует обмотку *II* трансформатора $Тр_1$, и модуляция прекращается.

Элемент $Б_1$ присоединяется к схеме выключателем $Вк_1$, спаренным с переменным резистором R_6. Для сохранения устойчивой работы генератора при частичном разряде элемента последний заблокирован конденсатором C_1, через который протекает высокочастотная составляющая коллекторного тока транзистора T_1. Поэтому увеличение внутреннего сопротивления элемента $Б_1$ в процессе его разряда незначительно отражается на работе высокочастотного генератора и прибора в целом.

Детали. Самодельными деталями генератора являются катушки L_1, L_2 всех поддиапазонов, высокочастотный дроссель $Др_1$ и трансформатор $Тр_1$.

Сменные катушки поддиапазонов I—IV намотаны на полистироловых каркасах, которые заключены в броневые сердечники из феррита марки 600НН (Ф-600), составленные из двух чашек наружным

диаметром 11 *мм* и высотой 5 *мм* каждая. Катушки подстраиваются цилиндрическими сердечниками из феррита марки 600НН (Ф-600) диаметром 2,8 *мм* и длиной 14 *мм*. Для изготовления этих катушек могут использоваться каркасы и сердечники фильтров промежуточной частоты радиоприемника «Спидола».

Сменная катушка поддиапазона V намотана на полистироловом каркасе наружным диаметром 5 *мм* и подстраивается цилиндрическим сердечником диаметром 2,8 *мм* и длиной 14 *мм* из феррита марки 100НН (Ф-100).

Намоточные данные и индуктивности описанных выше катушек приведены в табл. 4 (вариант А) Для подключения сменных катушек к схеме служит контактный разъем, гнездовой частью которого является семиштырьковая ламповая панелька, а штыревая часть, конструктивно объединенная со сменной катушкой, образована проволочными штырьками. Штырьки изготовлены из отрезков провода диаметром 1 *мм*, которые в горячем состоянии вдавлены в диск из оргстекла толщиной 3 *мм* и диаметром 20 *мм*, служащий опорной деталью для крепления сменной катушки. Выводы катушек припаяны к продолжениям контактных штырьков (рис. 36, *а*). В центре диска просверлено отверстие для доступа к подстроечному сердечнику катушки.

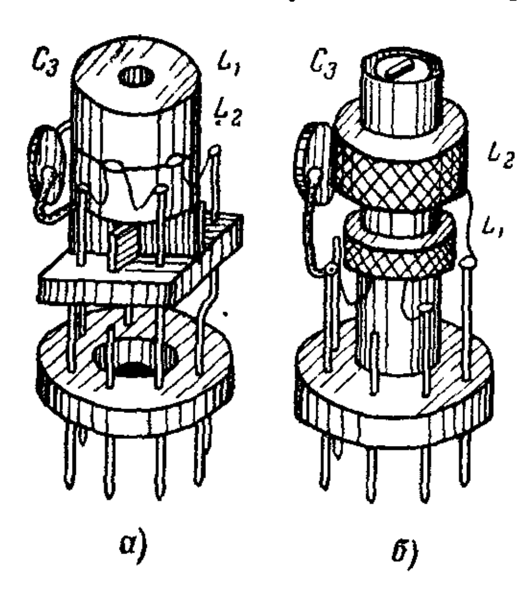


Рис. 36. Сменные катушки генератора сигналов.

а — в броневых сердечниках; *б* — на цилиндрических каркасах.

При отсутствии броневых сердечников катушки генератора сигналов могут быть намотаны на цилиндрических каркасах наружным диаметром 7,5 *мм*, внутри которых перемещаются подстроечные сердечники из карбонильного железа типа СЦР-1. Данные катушек для этого случая приведены в табл. 4 (вариант Б), а устройство — на рис. 36, *б*. Для изготовления катушек могут использоваться каркасы и сердечники от контуров промежуточной частоты телевизоров «Рекорд», «Рубин», «Знамя» и др. В обоих конструктивных вариантах катушки L_1 и L_2 имеют одинаковое направление намотки.

Дроссель $Др_1$ содержит две секции по 600 витков провода ПЭЛШО 0,12, намотанных на каркас диаметром 7,5 *мм*, внутри которого помещен карбонильный сердечник типа СЦР-1. В качестве дросселя можно использовать катушку «звенящего контура» от телевизоров «Рубин-102», «Верховина-А», «Волна» и др. При необходимости уменьшить габариты дросселя он может быть намотан на броневом сердечнике от фильтра промежуточной частоты радиоприемника «Спидола» проводом ПЭВ 0,05—0,08 до заполнения внутренней полости сердечника. Дроссель минимальных габаритов можно изготовить, намотав с помощью челнока провод ПЭВ 0,05—0,08 на кольцо из феррита марки 1000НН (Ф-1000) с наружным диаметром 10 *мм*, внутренним — 6 *мм* и высотой 5 *мм*. Намотка ведется до заполнения кольца.

Таблица 4

Моточные данные катушек генератора сигналов

Поддиапазон	Частота, *Мгц*	Катушка	Число витков	Провод	Индуктивность, *мкгн*	Примечание
Вариант А: катушки поддиапазонов I—IV в броневых сердечниках марки 600НН (Ф-600), катушки поддиапазона V на цилиндрическом каркасе диаметром 5 *мм*						
I	0,1—0,32	L_1	500	ПЭВ 0,09	6100	«Внавал»
		L_2	12	ПЭВ 0,09	6	Поверх L_1
II	0,32—1	L_1	150	ПЭЛШО 0,12	600	«Внавал»
		L_2	10	ПЭЛШО 0,12	4	Погерх L_1
III	1—3,2	L_1	65	ПЭЛШО 0,25	65	«Внавал»
		L_2	6	ПЭЛШО 0,12	1	Поверх L_1
IV	3,2—10	L_1	22	ПЭЛШО 0,25	6	«Внавал»
		L_2	5	ПЭЛШО 0,12	0,5	Поверх L_1
V	10—30	L_1	16	ПЭЛШО 0,35	0,8	Однослойная
		L_2	7	ПЭЛШО 0,12	0,2	Поверх L_1
Вариант Б: катушки на цилиндрических каркасах диаметром 7,5 *мм*.						
I	0,1—0,32	L_1	1000	ПЭЛ 0,09	6000	«Внавал»
		L_2	100	ПЭЛ 0,09	80	Рядом с L_1
II	0,32—1	L_1	250	ПЭЛШО 0,12	600	«Внавал»
		L_2	25	ПЭЛШО 0,12	8	Рядом с L_1
III	1—3,2	L_1	80	ПЭЛШО 0,25	60	«Внавал»
		L_2	8	ПЭЛШО 0,12	1	Поверх L_1
IV	3,2—10	L_1	30	ПЭЛШО 0,25	6	Одиослойная
		L_2	5	ПЭЛШО 0,12	0,4	Поверх L_1
V	10—30	L_1	9	ПЭЛШО 0,35	0,8	Однослойиая
		L_2	7	ПЭЛШО 0,25	0,4	Поверх L_1

Примечание. В обоих вариантах все катушки имеют одинаковое направление намотки.

Трансформатор $Тр_1$ намотан на ферритовом кольце марки 1000НН (Ф-1000), размеры которого приведены выше. Обмотка *I* содержит 600 витков, обмотка *II* — 300 витков и обмотка *III* — 100 витков провода ПЭВ 0,08 Все обмотки имеют одинаковое направление. При изготовлении трансформатора следует пометить начала и концы обмоток, для чего желательно надеть на них разноцветные полихлорвиниловые трубочки Готовый трансформатор для защиты от механических повреждений пропитывается полистирольным клеем Вместо ферритового кольца можно использовать Ш-образный сердечник из электротехнической стали сечением 0,5—1 *см*². Данные обмоток при этом остаются без изменений, однако при налаживании прибора потребуется изменить емкость конденсатора C_9

Конденсатор переменной емкости C_4 с твердым диэлектриком имеет максимальную емкость 400 *пф*. Можно использовать конденсатор от карманного приемника, соединив обе его секции параллельно и подключив последовательно с ними постоянный конденсатор такой емкости, чтобы общая максимальная емкость равнялась 400 *пф*. Например, в случае применения конденсатора от приемника «Селга», емкость каждой секции которого изменяется в пределах 4—220 *пф*, последовательно с запараллеленными секциями должен быть включен конденсатор емкостью 5 100 *пф* (слюдяной или пленочный).

Конденсаторы C_6 и C_8 типа ЭМ, C_9 типа МБМ или БМ, остальные конденсаторы — керамические.

Переменный резистор R_6 имеет линейную зависимость сопротивления от угла поворота оси (группа А) Его сопротивление может быть изменено на ±50% без ущерба для качества работы генератора сигналов. При отсутствии переменного резистора с выключателем придется установить отдельный выключатель, например, типа ТВ2-1. Несложный выключатель можно изготовить самостоятельно из двух контактных пружин от реле, которые должны замыкаться под воздействием кулачка, насаженного на ось переменного резистора.

Все постоянные резисторы — типа УЛМ. Габариты прибора позволяют установить в нем резисторы типа МЛТ-0,25 или даже МЛТ-0,5.

В генераторе сигналов применены выходные коаксиальные гнезда $Г_1$ и $Г_2$ от антенного входа телевизора Их преимуществом является доступность для радиолюбителей, а также возможность приобретения соответствующих штекеров. Гнегда $Г_3$ — обычной конструкции.

Установленные в генераторе сигналов транзисторы T_1 и T_2 типа П403А с коэффициентами усиления $В = 50 \div 60$ могут быть заменены транзисторами типов П403, П416, П416А, П416Б, П423. Транзистор T_3 типа МП40 с коэффициентом усиления $В = 30$ можно заменить любым германиевым сплавным транзистором.

Источником питания генератора сигналов является сухой элемеит типа 332 (ФБС-0,25). Возможно применение угольно-цинковых элементов других типов, например одного элемента от батареи типа КБС-Л-0,5.

Конструкция и монтаж. Генератор сигналов смонтирован в металлическом корпусе размерами 115 × 65 × 35 *мм* со съемной верхней крышкой На верхней панели генератора (рис. 37) расположены шкала настройки, ручка переменного резистора R_6 и выходные гнезда $Г_1$ — $Г_3$.

Изнутри к верхней крышке прикреплена монтажная плата из оргстекла (или гетинакса) размерами 110 × 60 × 2 *мм*, на которой размещается бо́льшая часть деталей генератора (рис. 38).

Конденсатор переменной емкости C_4 привинчен к монтажной плате Над ним расположены держатель элемента $Б_1$ (см рис. 18, *а*, *б*) и выполняющая функцию гнездовой части разъема *1* — *5* семиштырьковая ламповая панелька, в которую вставляются сменные катушки. Выводы транзистора T_1 и детали высокочастотного генератора распаиваются непосредственно на лепестках панельки, причем свободные лепестки используются в качестве монтажных контактов.

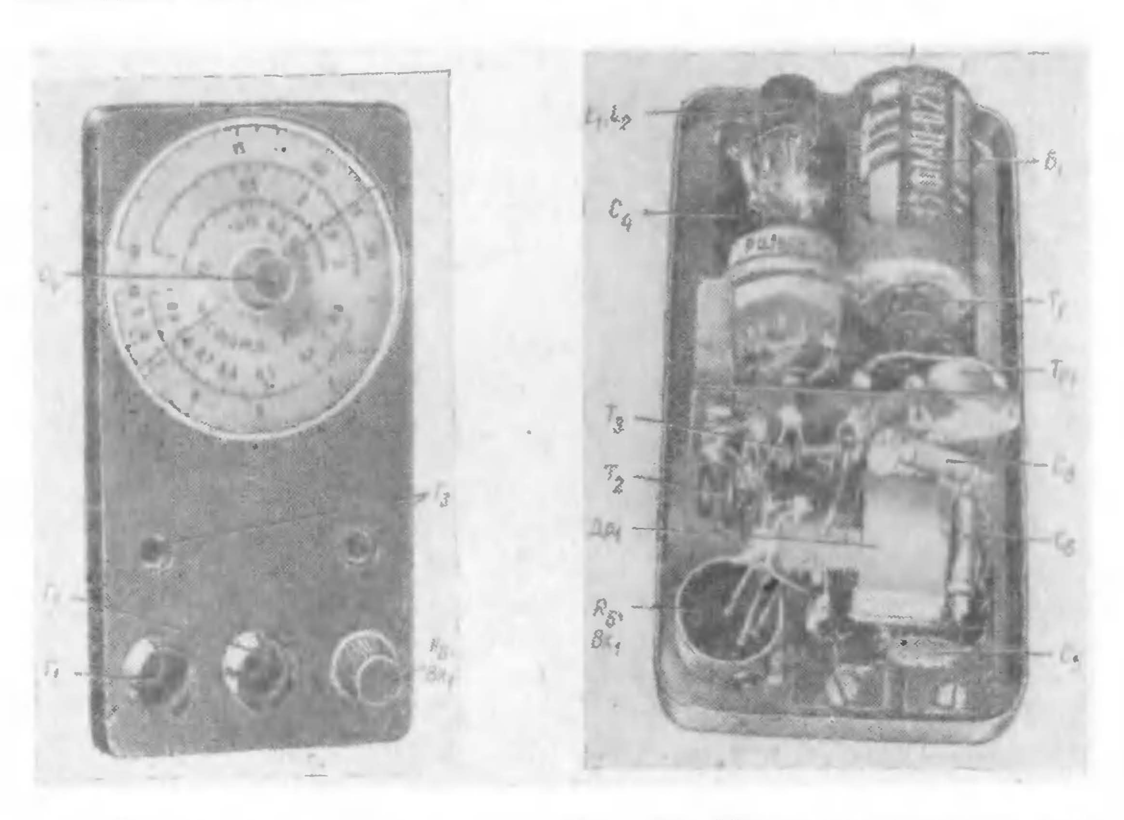


Рис. 37. Внешний вид генератора сигналов

Рис. 38. Монтаж генератора сигналов.

Конденсатор C_1 припаивается между выводом подвижных пластин конденсатора C_4 и выводом эмиттера транзистора T_1. Вывод неподвижных пластин конденсатора C_4 соединяется с выводом коллектора транзистора T_1.

Детали низкочастотного генератора, в том числе и трансформатор $Тр_1$, располагаются на отдельной гетинаксовой монтажной плате размерами 55 × 28 × 2 *мм*, установленной перпендикулярно основной плате с помощью уголковых стоек. На этой же плате монтируются транзистор T_2 и детали буферного каскада, за исключением разделительных фильтров. Для распайки выводов трансформатора, транзисторов, резисторов и конденсаторов служат опорные контакты, изготовленные из луженого провода диаметром 1 *мм* и закрепленные в отверстиях платы

Переменный резистор R_6 и гнезда $Г_1$ — $Г_3$ установлены на основной плате. Детали разделительных фильтров $Др_1$, C_5 — C_7, R_4 — R_5 припаяны к выводу ползунка резистора R_6 и контактным лепесткам гнезд $Г_1$ и $Г_2$.

В верхией крышке прибора сделаны отверстия для оси конденсатора переменной емкости C_4, втулки резистора R_6 и выходных гнезд, причем диаметры отверстий под коаксиальные гнезда $Г_1$ и $Г_2$ подогнаны так, что в них с некоторым трением входят внешние контактные разъемы этнх гнезд и за счет их упругости обеспечивается надежное электрическое соединение с корпусом. Отверстне для оси конденсатора C_4 должно быть несколько больше ее днаметра, чтобы предотвратить замыкание минуса источника питания иа корпус прибора. Отверстия, открывающие доступ к гнездам $Г_3$, также имеют больший диаметр, чем штекерные вилки, что исключает соприкосновение последних с корпусом.

Благодаря компактности конструкции электрический монтаж генератора выполнеи главным образом за счет выводов деталей, которые укорочены до 10—15 *мм*. Выводы транзисторов во избежание их перегрева при пайке лучше не укорачивать, а изогнуть с помощью круглогубцев. Изгибы выводных проводников транзисторов позволяют в случае необходимости измеиять их положение, не рискуя повреднть транзнсторы. Выводы моточных деталей с надетыми на иих полихлорвиниловыми трубочками также укорачиваются и затем распаиваются.

Налаживание. Предварительное налаживаиие геиератора сигналов рекомендуется производить, собрав вначале всю схему на макете, в качестве которого можно использовать плату размерами 200 × 150 *мм* или больше из любого изоляционного материала. На плате укрепляются контакты из лужеиого провода или белой жести, после чего устанавливаются основные детали: конденсатор C_4, резистор R_6, разъем для подключения смеиных катушек, гнезда $Г_1$ — $Г_3$ и держатель элемента $Б_1$.

Моитируя схему на макете, целесообразно придерживаться такого расположения деталей, которое примерно соответствует изображенному на прииципиальной схеме рис. 35. Такое расположение деталей позволит избежать длинных соедииительных проводников, облегчит ориентировку при работе с макетом и уменьшит вероятность ошибок при моитаже и налаживании макета. При распайке мелких деталей нх выводы не укорачивают, так как в процессе налаживания могут потребоваться перепайки деталей, которые при коротких выводах могли бы сопровождаться нежелательным перегревом деталей, в особенности транзисторов.

Как при предварительной сборке схемы на макете, так и во время окоичательного монтажа генератора сигиалов необходимо правильно присоединять к схеме выводы трансформатора $Тр_1$. При одинаковом иаправлении всех обмоток начало обмотки *I* (отмечено точкой на рис. 35) должио соединяться с коллектором T_3, а иачало обмотки *III* — со средней точкой делителя R_7R_8. В противном случае обратиая связь в низкочастотном генераторе окажется не положительной, а отрицательной и возбуждение в нем незатухающих колебаний станет невозможным. При монтаже высокочастотного генератора также необходнмо соблюдать указанный на схеме рис. 35 порядок подключения выводов катушек: начало катушки L_1 присоединяется к R_1 и C_2, а начало намотанной в том же направлении катушки L_2 — к коллектору транзистора T_1. Подвижные пластины конденсатора C_4 должны соединяться с минусом источника тока.

Выполиив и проверив монтаж макета, включают питание и измеряют режимы транзисторов, ориентировочные значения которых приведены на рис. 35. Напряжения на базах транзисторов составляют десятые доли вольта, в связи с чем их измерение возможно только с помощью вольтметра, имеющего предел измерения 0,5 *в* или 1 *в* и высокое входное сопротивление. В частности, для этих целей пригоден транзисторный вольтомметр, описанный в § 18. При отсутствии подходящего вольтметра придется ограничиться измерением коллекторных токов транзисторов, для чего миллиамперметр включается в разрывы проводников, обозначенные на рис. 35 крестикамн. Следует отметить, что в некоторых случаях включение миллиамперметра в цепь коллектора транзистора T_1 может нарушить работу высокочастотного генератора. Чтобы избежать этого, следует на время измерення заблокировать разрыв цепи слюдяным или керамическим конденсатором емкостью порядка 0,01 *мкф*. На данном этапе налаживания допустимы отклонения режимов от указанных на рис. 35 на ±30%. Если же напряжения или токи выходят за эти пределы, что может иметь место в случае применения транзисторов с коэффициентами усиления, отличающимися от рекомендуемых, потребуется подбор сопротивлений резисторов R_1, R_2 и R_7.

Дальнейшее налаживание макета заключается в основном в регулировке высокочастотного и низкочастотного генераторов. Весьма желательно использовать для этого электронный осциллограф, предпочтительно типа С1-20 или С1-5А (СИ-1). Эти осциллографы позволяют наблюдать высокочастотные колебаиия, а также измерять их период и амплитуду. При отсутствии осциллографа налаживание макета можно производить с помощью радиоприемника, который будет служить индикатором генерируемых колебаиий. Ниже описываются обе методики налаживания генератора сигналов: с осциллографом и без него.

Налаживание схемы с помощью осциллографа производится в такой последовательности. Включают осцнллограф и готовят его к работе в соответствии с инструкцией к нему. Затем приступают к регулировке частоты генератора модулирующего низкочастотного напряжения. Для этого выход генератора (гнезда $Г_3$) соединяют со входом *Y* осциллографа. Переключатель вида синхронизации осцнллографа ставят в положение «Внутренняя» и переключением ручек осциллографа, регулирующих период развертки, добиваются получения на экране осциллографа изображения одного-двух периодов напряжения регулируемого генератора. Пользуясь калибровкой осн времени (оси *X*) осциллографа или его калибратором длительности, определяют период колебаний регулнруемого генератора, который нормально должен быть равен 1 *мсек*. Если измеренный период окажется больше 1 *мсек*, то нужно уменьшить емкость конденсатора C_9 или, наоборот, увеличить ее, если период окажется меньше 1 *мсек*. Изменение емкости следует производить до тех пор, пока период регулируемого генератора станет равным 1 *мсек*, что соответствует колебанию с частотой 1 000 *гц*.

Улучшение формы колебаний генератора низкой частоты может быть достигнуто подбором сопротивления резистора R_8 в пределах 5—15 *ком*.

Проверку генератора высокой частоты начинают на поддиапазоне I, для чего в разъем *1—5* вставляют соответствующую сменную катушку. Заземленный зажим входа *Y* осциллографа соединяется с нижним (по схеме на рис. 35) гнездом $Г_3$ макета, а незаземленный — через конденсатор емкостью 10—20 *пф* с коллектором транзистора T_1. Регулируют усиление вертикального усилителя осциллографа

до получения размаха осциллограммы примерно на половину диаметра экрана, а частоту развертки — до установки на экране 2—3 периодов высокочастотного напряжения. Синхронизация развертки производится исследуемым сигналом (внутренняя синхронизация), причем амплитуда синхронизации должна быть как можно меньшей, но достаточной для получения устойчивой осциллограммы. Искажения синусоидальной формы колебаний высокой частоты не должны быть заметны. Если же они имеются, то уменьшить их можно, подобрав сопротивление резистора R_1.

Аналогичную проверку работоспособности высокочастотного генератора производят и на других поддиапазонах, если это позволяют параметры используемого осциллографа. В частности, осциллограф типа С1-20 пригоден для наблюдения колебаний с частотами до 20 *Мгц*, т. е. позволяет наладить генератор ВЧ на I—IV и частично V поддиапазонах; осциллограф С1-5А (полоса канала Y до 10 *Мгц*) позволяет наладить генератор на первых трех и частично IV поддиапазонах.

Следующим этапом налаживания является проверка работы буферного каскада на транзисторе T_2 и калибровка выходных напряжений генератора сигналов. Присоединив вход Y осциллографа к гнезду $Г_1$, наблюдают на экране осциллограмму низкочастотного напряжения. В случае проникновения на низкочастотный выход напряжения высокой частоты, что проявляется в размытости осциллограммы по вертикали, следует увеличить емкость конденсатора C_5 в 2—3 раза. При вращении ручки переменного резистора R_6 величина низкочастотного напряжения на гнезде $Г_1$ должна плавно изменяться в пределах 0—0,1 *в* (здесь и далее — эффективные значения). Измерить это напряжение можно с помощью калибратора амплитуды, имеющегося в осциллографе. Если же осциллограф не снабжен калибратором, то можно определить величину выходного напряжения, сопоставляя размах его осциллограммы с размахом осциллограммы калибровочного напряжения 0,1 *в*, которое можно получить с помощью понижающего трансформатора. Например, при использовании любого силового трансформатора с обмоткой на 6,3 *в* к выводам этой обмотки присоединяют делитель напряжения, составленный из резисторов сопротивлениями 6,2 *ком* и 100 *ом* с допуском $\pm 5\%$. Вход Y осциллографа подключают к резистору сопротивлением 100 *ом*, и выделяющееся на этом резисторе напряжение 0,1 *в* используется в качестве калибровочного. Отрегулировав усиление осциллографа так, чтобы осциллограмма калибровочного напряжения имела размах, соответствующий примерно половине диаметра экрана, отмечают его величину по координатной сетке осциллографа или же непосредственно на экране. Затем, не изменяя положения ручек осциллографа, регулирующих усиление канала Y, отключают вход Y от источника калибровочного напряжения (т. е. от резистора 100 *ом*) и присоединяют его к гнезду $Г_1$ генератора сигналов. При этом может оказаться, что размах осциллограммы выходного низкочастотного напряжения генератора будет больше или меньше размаха осциллограммы калибровочного напряжения. Для подгонки величины выходного напряжения к уровню калибровочного напряжения подбирают сопротивление резистора R_7.

Откалибровать выходное низкочастотное напряжение генератора можно и без осциллографа, если имеется электронный вольтметр (или милливольтметр), позволяющий измерять переменные напряжения до 0,1 *в*.

Далее производят подгонку величины несущей высокочастотного напряжения на выходном гнезде $Г_2$. Присоединив вход Y осциллографа к гнезду $Г_2$, замыкают между собой гнезда $Г_3$, вставляют в разъем *1—5* сменную катушку поддиапазона I и устанавливают конденсатор переменной емкости C_4 в среднее положение. После этого подбирают емкость сменного конденсатора связи C_3 так, чтобы размах осциллограммы на экране осциллографа соответствовал напряжению 0,1 *в*. Аналогично подбираются емкости сменных конденсаторов связи C_3 на остальных поддиапазонах, и подобранные конденсаторы припаиваются к сменным катушкам.

Измерение выходного высокочастотного напряжения можно производить не только с помощью осциллографа, но также и электронным вольтметром с высокочастотным пробником. Для ориентировочной оценки выходного напряжения можно воспользоваться транзисторным вольтомметром, описанным в § 18.

В заключение устанавливается коэффициент глубины амплитудной модуляции. Разомкнув гнезда $Г_3$ и установив частоту развертки осциллографа примерно 500 *гц*, вставляют в разъем *1—5* сменную катушку поддиапазона I и наблюдают осциллограмму модулированных колебаний. Их форма должна соответствовать приведенной на рис. 39, *а*, причем желательна симметричность осциллограммы относительно оси развертки. Асимметрия, подобная изображенной на рис. 39, *б*, устраняется подбором резистора R_2. Измерив с помощью координатной сетки осциллографа или с помощью циркуля и масштабной линейки наибольший (A) и наименьший (B) размахи осциллограммы модулированного напряжения (см. рис. 39, *а*), вычисляют коэффициент глубины модуляции по формуле

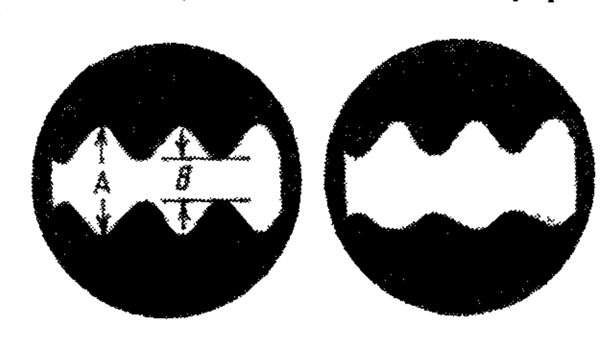


Рис. 39. Примерные осциллограммы модулированного напряжения.

а — при неискаженной модуляции; *б* — при модуляции с искажениями.

$$m = \frac{A - B}{A + B} \cdot 100\%. \qquad (38)$$

Подбором сопротивления резистора R_3 устанавливается коэффициент глубины модуляции, равный 30%. Это же значение коэффициента сохранится и на остальных поддиапазонах, поскольку уровни подводимых к буферному каскаду высокочастотных напряжений одинаковы.

Налаживание генератора сигналов по описанной методике достаточно трудоемко и требует наличия осциллографа. Поэтому работы по налаживанию макета генератора лучше производить в лаборатории радиоклуба или учебного заведения, где радиолюбитель может воспользоваться измерительными приборами и получить необходимую консультацию по вопросам, связанным с их эксплуатацией. Если же такой возможности не представляется, то налаживание генератора сигналов производится с помощью радиоприемника, что вполне осуществимо в домашних условиях.

Для налаживания и последующей градуировки генератора сигналов пригоден любой промышленный радиоприемник с градуированной по частоте шкалой настройки. Предпочтительнее приемник без магнитной антенны или же снабженный ее выключателем, что позволяет значительно ослабить мешающие сигналы радиостанций.

Генератор низкой частоты проверяют, соединив гнезда $Г_3$ со входом звукоснимателя приемника. При этом его громкоговоритель должен воспроизводить звук с частотой вырабатываемых генератором колебаний.

Ориентировочно определить частоту колебаний генератора можно, сравнивая высоту тона получаемого звука с тоном какого-либо музыкального инструмента, например фортепиано. Для подгонки частоты к требуемому значению нужно изменять емкость конденсатора C_9 до приближения тона, воспроизводимого громкоговорителем, к тону «си» второй октавы (приблизительно 990 *гц*). Вообще же следует иметь в виду, что абсолютное значение низкой частоты не имеет принципиального значения для эксплуатационных качеств генератора сигналов, важно лишь, чтобы оно лежало в области частот максимальной чувствительности слуха.

Генератор высокой частоты проверяют, контролируя его сигнал на радиоприемник, антенный вход которого через конденсатор емкостью 5—10 *пф* слабо связывается с коллектором транзистора T_1. Для ослабления приема мешающих радиостанций нужно соединять приемник с генератором отрезком коаксиального кабеля или экранированного провода. Настройка приемника на частоту генератора отмечается по индикатору настройки приемника и характерному шипению, воспроизводимому его громкоговорителем при замкнутых между собой гнездах $Г_3$. Если же разомкнуть гнезда $Г_3$, то может прослушиваться слабый звук с частотой модуляции.

Судить о искажениях формы высокочастотных колебаний можно по величинам амплитуд гармоник сигнала, поступающих на вход радиоприемника. Для этого ранее присоединенный к коллектору транзистора T_1 конденсатор емкостью 5—10 *пф* отпаивается и проводник, включенный в антенное гнездо приемника, связывают с генератором настолько слабо, чтобы сигнал на выходе приемника был едва слышен. Обычно такая степень связи получается при расположении конца соединительного проводника вблизи сменной катушки генератора. Заметив по шкале приемника основную частоту принимаемого сигнала, отыскивают и прослушивают ее гармоники. Например, при основной частоте сигнала 0,2 *Мгц* (длинноволновый диапазон приемника) гармоники могут прослушиваться на частотах 0,4 *Мгц* (длинноволновый диапазон); 0,6 *Мгц;* 0,8 *Мгц;* 1 *Мгц;* 1,2 *Мгц;* 1,4 *Мгц* и 1,6 *Мгц* (средневолновый диапазон). При малых искажениях формы высокочастотных колебаний гармоники должны приниматься значительно слабее сигнала основной частоты, а высшие гармоники могут вообще не прослушиваться. Если же высшие гармоники хорошо слышны, то для их ослабления следует подобрать сопротивление резистора R_1.

Наличие низкочастотных колебаний на гнезде $Г_1$ проверяют при подключении к нему входа звукоснимателя приемника. Громкость звука должна плавно изменяться от нуля до максимума при вращении ручки переменного резистора R_6. Если будут наблюдаться искажения воспроизводимого звука, следует подобрать сопротивление резистора R_8.

Для ориентировочной подгонки выходного напряжения низкой частоты до уровня 0,1 *в* можно воспользоваться авометром, имеющим предел измерения переменного напряжения 1 *в* или менее, например типа ВК7-1 (ТТ-3). Авометр, включенный на предел 1 *в* переменного напряжения, присоединяют к гнездам $Г_3$ и подбором сопротивления резистора R_7 устанавливают напряжение 0,3 *в*. Затем присоединяют авометр к гнезду $Г_1$ и подбором сопротивления резистора R_3 устанавливают напряжение 0,1 *в*. Однако установка напряжения с помощью авометра сопряжена со значительными погрешностями измерения напряжения.

В заключение присоединяют антенный вход приемника к гнезду $Г_2$ и прослушивают модулированные колебания генератора на различных поддиапазонах. Измерение и подгонка высокочастотного напряжения на гнезде $Г_2$ возможны только при наличии электронного вольтметра с высокочастотным пробником. Приближенная подгонка напряжения может быть выполнена с помощью транзисторного вольтомметра, описанного в § 18. Контролируя высокочастотное напряжение на гнезде $Г_2$ по вольтметру, подбирают емкости сменных конденсаторов C_3 так, чтобы выходное напряжение на каждом из поддиапазонов равнялось 0,1 *в*. Модуляция при этом должна быть выключена, для чего гнезда $Г_3$ замыкаются между собой.

На этом предварительное налаживание генератора сигналов заканчивается, и детали схемы могут быть перенесены с макета на монтажные платы. Монтаж производится в соответствии с приведенными выше рекомендациями. После проверки монтажа и работоспособности генератора, смонтированного на платах и заключенного в металлический корпус, переходят к его градуировке.

Градуировка. При градуировке генератора сигналов должны быть установлены границы поддиапазонов, определена зависимость частоты генерируемых колебаний от угла поворота конденсатора переменной емкости, составлены соответствующие таблицы или графики и изготовлена шкала настройки.

Начинать градуировку следует с установки границ поддиапазонов, которые указаны в табл. 4. Фактическое перекрытие по частоте на каждом из поддиапазонов несколько больше, что позволяет выбрать их границы с некоторым запасом, приблизительно в 3—4% от значений, приведенных в табл. 4. Так, например, поддиапазон I перекрывает частоты от 0,095 до 0,33 *Мгц*, поддиапазон II — от 0,31 до 1,05 *Мгц* и т. д. Предусмотренный запас обеспечивает перекрытие всех поддиапазонов при неизбежном разбросе таких трудно поддающихся учету факторов, как собственные емкости катушек, распределенная емкость монтажа и емкость коллекторного перехода транзистора T_1, величина которой зависит от напряжения на коллекторе.

Установить границы поддиапазонов проще всего с помощью радиоприемника, имеющего градуированную шкалу настройки. Предварительно следует проверить правильность градуировки приемника, что можно сделать с помощью образцового генератора сигналов или же посредством приема радиостанций, частота которых известна. В случае заметной расстройки приемника нужно подстроить его или вводить поправку на величину расстройки.

Антенный вход приемника через конденсатор емкостью 5—10 *пф* соединяется со внутренней жилой коаксиального кабеля или экранированного провода, включенного в гнездо $Г_2$ генератора сигналов. Экранирующая оплетка кабеля соединяется с гнездом зазем-

ления приемника, что существенно снижает уровень помех от радиостанций.

Установку начинают с высокочастотного конца поддиапазона I. В разъем *1—5* генератора сигналов вставляют сменную катушку поддиапазона I и, закрыв металлический корпус генератора, устанавливают минимальную емкость конденсатора C_4. Перестраивая приемник на участке 0,31—0,35 *Мгц* длинноволнового диапазона, находят сигнал генератора. Уменьшают напряжение сигнала переменным резистором R_6 до такого уровня, при котором он слышен достаточно громко, но не перегружает индикатора настройки приемника, подстраивают приемник более точно и отмечают частоту сигнала.

Постепенно увеличивая емкость конденсатора C_4, уменьшают частоту колебаний генератора и одновременно перестраивают приемник в сторону уменьшения частоты вплоть до конца его длинноволнового диапазона (приблизительно 0,15 *Мгц*). Для того чтобы можно было принять сигнал при дальнейшем уменьшении частоты, перестраивают приемник на частоту 0,3 *Мгц* и обнаруживают вторую гармонику генератора. Затем продолжают увеличивать емкость конденсатора C_4 и перестраивать приемник до получения наименьшей частоты при максимальной емкости конденсатора. При этом отсчитанная по шкале приемника частота второй гармоники должна равняться 0,19 *Мгц* или менее, что соответствует основной частоте сигнала 0,095 *Мгц* или менее. Таким образом определяется наименьшая частота генератора на поддиапазоне I. Если она отличается от указанной, то вращением сердечника контурной катушки подстраивают ее до 0,095 *Мгц*. Для подстройки поворачивают сердечник на четверть оборота, закрывают корпус генератора и проверяют частоту. В случае необходимости повторяют эту операцию вплоть до установки частоты 0,095 *Мгц*.

Установив минимальную частоту поддиапазона I, возвращаются к его высокочастотному концу и проверяют максимальную частоту, которая должна равняться 0,33 *Мгц* или больше. Несколько больший запас перекрытия на высокочастотном конце поддиапазона не является недостатком и даже полезен, так как при емкости конденсатора C_4, близкой к минимальной, настройка генератора получается довольно острой. Если желательно уменьшить максимальную частоту поддиапазона, то параллельно сменной катушке L_2 припаивается конденсатор, емкость которого подбирается в пределах 5—20 *пф*.

После установки границ поддиапазона I производят градуировку генератора сигналов на этом поддиапазоне с помощью временной шкалы из плотной бумаги, которая крепится к верхней панели генератора. Перестраивая генератор и приемник, как описано выше, наносят на шкалу деления и надписи, соответствующие частотам 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 и 0,3 *Мгц*. Затем наносятся деления без надписей, соответствующие частотам 0,125; 0,175; 0,225 и 0,275 *Мгц*.

Аналогично производится установка границ и градуировка шкалы на поддиапазонах II—IV, причем частоты 0,4—0,52 *Мгц* и частоты 1,6—3,95 *Мгц*, не перекрываемые радиовещательными приемниками, градуируются по их гармоникам. При настройке приемника на коротковолновых диапазонах из-за недостаточной избирательности по зеркальному каналу возможен прием сигнала в двух точках шкалы. Правильной является настройка приемника

на более высокую частоту, при которой частота его гетеродина выше частоты сигнала.

Наибольшие трудности представляет градуировка генератора сигналов на поддиапазоне V, так как большинство радиовещательных приемников не рассчитано на прием частот, превышающих 12,1 *Мгц*. Поэтому градуировку генератора на поддиапазоне V следует производить с помощью специального коротковолнового приемника либо по гетеродинному волномеру, что можно осуществить в лаборатории радиоклуба или учебного заведения. Если такой возможности не представится, то придется ограничиться поддиапазонами I—IV, тем более, что генерируемые на этих поддиапазонах частоты достаточны для большинства измерений в радиолюбительской практике.

Вообще следует подчеркнуть, что градуировка шкалы частот генератора по приемнику довольно груба. Более предпочтительна градуировка с помощью частотомеров (например, типов Ч3-2, Ч4-1 и др.). Возможна также градуировка шкалы частот с помощью осциллографа (например, типа С1-20) аналогично тому, как производилась регулировка частоты генератора низкочастотного модулирующего напряжения.

По окончании градуировки деления и надписи временной шкалы переносятся с помощью чертежных инструментов на основную (рабочую) шкалу, которая вычерчивается тушью на плотной бумаге. Шкала крепится к верхней панели генератора сигналов и защищается от возможных повреждений и загрязнений наличником из тонкого органического стекла или целлулоида.

На оси конденсатора переменной емкости C_4 укрепляется ручка с диском из оргстекла, на обеих сторонах которого прорезаны тонкие диаметральные штрихи, заполненные черной краской или тушью.

Следует отметить, что вычерчивание шкалы малых размеров довольно трудоемко и требует некоторого опыта. Лучшие результаты могут быть получены при изготовлении шкалы генератора сигналов фоторепродукционным способом (см. § 34). Радиолюбителям, испытывающим затруднения при выполнении этих работ, рекомендуется применить шкалу со 100 равномерными делениями и составить градуировочные таблицы или графики для каждого из поддиапазонов генератора сигналов.

Переменный резистор R_6 также желательно снабдить шкалой с указателем или нанести деления непосредственно на ручку резистора. Для ориентировочной оценки величины выходного напряжения генератора сигналов достаточно иметь 10 равномерных делений, что соответствует цене деления 0,01 *в* (эффективных).

Эксплуатация. Генератор сигналов предназначен главным образом для проверки, налаживания и настройки радиоприемников и усилителей. Кроме того, он может использоваться в качестве источника высокочастотных и низкочастотных напряжений для питания резонансных и мостовых измерительных схем.

При всех измерениях корпус генератора должен быть закрыт. Плотно закрытый металлический корпус практически полностью предотвращает проникновение сигнала к объекту измерения помимо выходных гнезд генератора. Для соединения с объектом используется отрезок коаксиального кабеля или, в крайнем случае, экранированного провода, снабженного на одном конце коаксиальным штекером, а на другом — двумя зажимами «крокодил». Подключать кабель к объекту необходимо через разделительный конденсатор ем-

костью не менее 0,01 *мкф* при высокочастотных измерениях и 1 *мкф* — прн низкочастотных. Указанные величины емкостей являются минимально необходимыми при работе с транзнсторными схемами, для ламповых схем онн могут быть уменьшены в 10—20 раз. Включение разделнтельных конденсаторов предотвращает возможное протекание тока от исследуемого объекта через резисторы R_4 или R_5, которое сопровождалось бы нарушением электрического режима объекта, а при сильных токах — даже повреждением резисторов R_4 или R_5.

Глубина регулировки выходного напряжения генератора сигналов переменным резистором R_6 достаточна для работы с малочувствительными схемами, напрнмер для настройки карманных приемников. Если же проверяются или настраиваются высокочувствительные схемы, например многоламповые приемннки, многокаскадные усилители магнитофонов и т. п., то ослабление сигнала резистором R_6 может оказаться недостаточным. В таких случаях следует пользоваться выносным делителем напряжения.

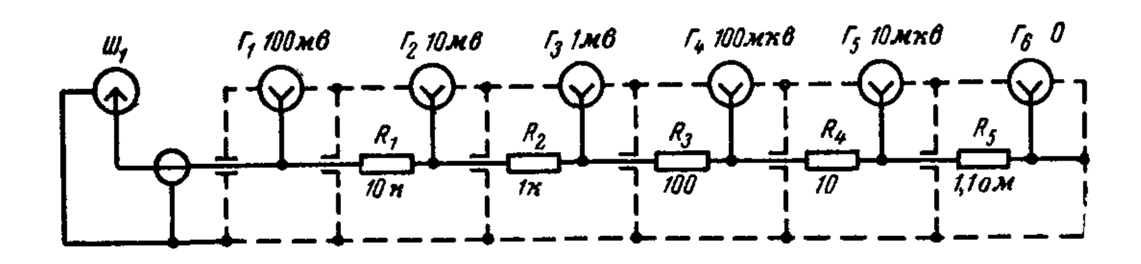


Рис. 40. Выносной делитель для генератора сигналов.

Схема простейшего делителя напряжения приведена на рис. 40. Он представляет собой цепочку последовательно соединенных резисторов R_1 — R_5, сопротивления которых таковы, что напряжение на каждом последующем из гнезд $Г_1$ — $Г_5$ в 10 раз меньше, чем на предыдущем. Делитель присоединяется к выходным гнездам генератора сигналов коаксиальным кабелем, заканчивающимся штекером $Ш_1$. Ослабленный сигнал снимается с гнезда $Г_6$ и одного из гнезд $Г_1$ — $Г_5$. При максимальном выходном напряжении генератора (0,1 *в*) на гнездах делителя действуют напряжения, указанные на рис. 40. Дальнейшее плавное ослабление сигнала производится с помощью переменного резистора генератора.

Для деления напряжения с достаточной точностью резисторы R_1 — R_3 делителя должны быть непроволочными с допуском ±5% (типа МЛТ-0,5, МЛТ-0,25 или ВС-0,25). Низкоомные резисторы R_4 и R_5 наматываются проводом с высоким удельным сопротивлением (манганиновым или константановым) на керамических стержнях резисторов типа МЛТ-0,5 нли ВС-0,25, с которых наждачной шкуркой удален проводящий слой. С целью уменьшения индуктивности намотки она выполняется особым способом (бифилярная намотка): концы провода с требуемым сопротивлением припаивают к выводам резистора, провод складывают вдвое и затем наматывают на керамический стержень резистора. При этом обе половины провода оказываются намотанными в противоположных направлениях и индуктивность обмотки минимальна.

Для устранения емкостной связи между резисторами они вместе с соответствующими гнездами помещаются в экранированные отсеки

металлического корпуса делителя. Корпус и перегородки в нем можно сделать из белой жести, тщательно пропаяв все стыки. В качестве гнезд $Г_1$ — $Г_5$ желательно применить коаксиальные гнезда от телевизоров, при этом гнездо $Г_6$ становится ненужным. При отсутствии таких гнезд можно использовать гнезда обычной конструкции.

Генератор сигналов сохраняет работоспособность при глубоком разряде источника питания, однако снижение напряжения питания влечет за собой пропорциональное уменьшение величины выходного сигнала. Поэтому в процессе эксплуатации следует периодически проверять напряжение элемента $Б_1$ и своевременно заменять его свежим.

Возможные конструктивные варианты. При изготовлении генератора сигналов его конструкция может подвергаться различным изменениям в зависимости от возможностей радиолюбителя. В частности, при помещении генератора в корпус бóльших размеров целесообразно ввести в его схему переключатель поддиапазонов, которым будут коммутироваться контурные катушки L_2, катушки обратной связи L_1 и конденсаторы связи C_3. Кроме того, для уменьшения погрешности градуировки генератора по частоте желательно применить конденсатор переменной емкости C_4 с воздушным диэлектриком и большую шкалу настройки. Что же касается делителя напряжения, то и при наличии вместительного корпуса лучше выполнить делитель в виде выносного устройства, поскольку эта мера радикально устраняет наводки напряжения сигнала на выходные гнезда делителя.

Добавление к схеме низкочастотного генератора переключателя и нескольких конденсаторов позволит получить ряд фиксированных низких частот, что может оказаться полезным при налаживании усилителей. Применение генератора с несколькими фиксированными частотами дает возможность приближенного определения частотных параметров налаживаемого усилителя.

Предлагаемые в настоящем описании конструктивные решения не исключают возможных изменений как отдельных конструктивных узлов, так и общей компоновки генератора сигналов. Так, например, выполнение узла сменной катушки не ограничивается двумя описанными вариантами (рис. 36, *а*, *б*), и может быть иным в зависимости от имеющихся в наличии каркасов, разъемов и т. д.

Использование деталей с другими геометрическими размерами может повлечь за собой необходимость частичного или даже полного изменения компоновки генератора сигналов. Здесь применимы различные конструктивные варианты, обсуждать которые не представляется возможным. Однако во всех случаях рекомендуется придерживаться следующих основных принципов: генератор высокой частоты должен располагаться как можно дальше от выходных гнезд; разделительные фильтры монтируются в непосредственной близости к гнездам; источник питания желательно располагать между генератором высокой частоты и выходными гнездами, чтобы он, помимо своего назначения, выполнял функции электрического экрана. В любых конструктивных вариантах генератор сигналов должен заключаться в металлический корпус, обеспечивающий надежную экранировку.

22. Генератор для настройки приемников

Генератор предназначен для проверки и настройки радиоприемников, работающих в диапазонах длинных и средних волн, а также усилителей низкой частоты. Он генерирует колебания низкой частоты 400 гц и амплитудно-модулированные этой частотой высокочастотные колебания в поддиапазонах 150—400 кгц и 520—1 600 кгц. Генератор питается от одного элемента типа 332 (ФБС-0,25), потребляемый ток не превышает 1 ма. Габариты генератора 130×70×50 мм, вес 300 г.

Принципиальная схема. Прибор состоит из двух генераторов: низкочастотного — на транзисторах T_1 и T_2 и высокочастотного — на транзисторе T_3 (рис 41)

Генератор низкочастотных колебаний представляет собой несколько видоизмененный несимметричный мультивибратор с эмиттерной связью Его первый каскад на транзисторе T_1 типа МП40

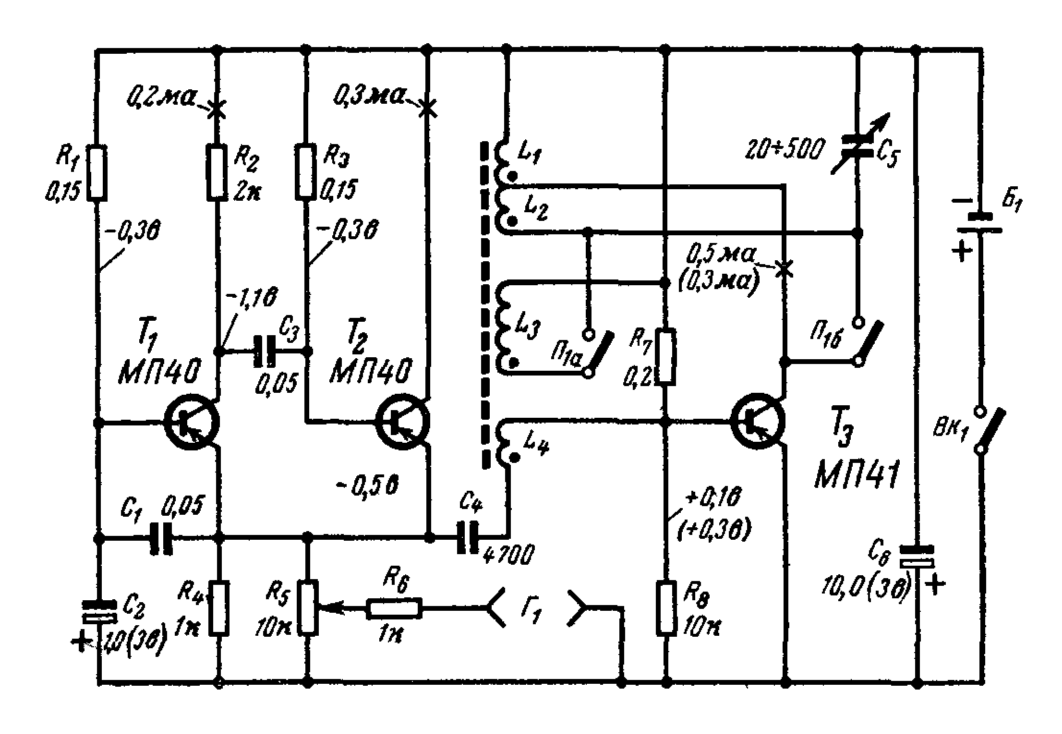


Рис. 41. Принципиальная схема генератора для настройки приемников.

является усилителем по схеме с общей базой. Усиленное этим транзистором напряжение поступает на базу транзистора T_2 типа МП40, работающего в схеме усилителя с общим коллектором Второй каскад имеет высокое входное и низкое выходное сопротивление.

Выходное напряжение второго каскада, выделяющееся на резисторах R_4 и R_5, одновременно является входным напряжением для первого каскада. Поэтому усилитель оказывается охваченным положительной обратной связью и при общем коэффициенте усиления обоих каскадов по току, превышающему единицу, превращается в самовозбуждающийся генератор Форма колебаний генератора приближается к прямоугольной Бо́льшую часть периода колебаний транзисторы генератора заперты, что выгодно с точки зрения увеличения его экономичности. Положительным качеством генератора

является также его низкое выходное сопротивление, благодаря чему облегчается согласование генератора с подключаемой к нему нагрузкой.

Частота колебаний генератора зависит от емкостей конденсаторов C_1 и C_3 и может изменяться в широких пределах Часть выходного напряжения генератора снимается с ползунка переменного резистора R_5 и через резистор R_6, служащий для уменьшения влияния нагрузки на параметры генератора, подается на выходные гнезда $Г_1$. Полное выходное напряжение подается с эмиттера транзистора T_2 через конденсатор C_4 в схему высокочастотного генератора и используется для модуляции его колебаний

Генератор колебаний высокой частоты собран на транзисторе T_3 типа МП41 по схеме с индуктивной связью и работает в поддиапазонах длинных и средних волн. При работе на длинноволновом поддиапазоне переключатели $П_{1а}$ — $П_{1б}$ разомкнуты и колебательный контур генератора образуется конденсатором переменной емкости C_5 и катушками L_1 и L_2, намотанными на ферритовом стержне. Коллектор транзистора T_3 подключен к точке соединения катушек L_1 и L_2, и генератор работает с неполным включением контура в коллекторную цепь, что позволяет согласовать низкое выходное сопротивление транзистора с высоким резонансным сопротивлением контура. Напряжение положительной обратной связи, индуктирующееся в катушке L_4, приложено между базой и эмиттером транзистора T_3, так как нижний (по схеме) вывод катушки L_4 через конденсаторы C_4, C_1 и C_2 оказывается соединенным с эмиттером транзистора T_3.

Наряду с высокочастотным напряжением обратной связи, необходимым для поддержания в схеме незатухающих колебаний, к участку база — эмиттер транзистора T_3 приложено также напряжение низкой частоты, которое поступает через конденсатор C_4 от низкочастотного генератора. Благодаря этому происходит амплитудная модуляция генерируемых в схеме высокочастотных колебаний напряжением низкой частоты. С помощью резисторов R_7 и R_8 задается такой режим транзистора T_3, при котором после установления в схеме незатухающих колебаний постоянная составляющая напряжения на его базе становится положительной, вследствие чего несколько уменьшается влияние модулирующего напряжения на емкости p-n-переходов транзистора и ослабляется паразитная частотная модуляция сигнала.

При переключении генератора на средневолновый поддиапазон переключатели $П_{1а}$—$П_{1б}$ замыкаются, катушка L_2 закорачивается, а параллельно катушке L_1 присоединяется катушка L_3. Индуктивность колебательного контура уменьшается приблизительно в 10 раз, и его добротность и резонансное сопротивление снижаются Тем не менее, генерация сохраняется благодаря, во-первых, полному включению контура в цепь коллектора транзистора T_3 и, во-вторых, возрастанию коэффициента трансформации напряжения, индуктируемого в катушке L_4, вследствие уменьшения числа витков контурной катушки.

Применение несколько своеобразного способа коммутации катушек генератора при переключении его на средневолновый поддиапазон обусловлено следующими причинами. При обычно применяемом в измерительных генераторах способе переключения не используемая на средневолновом поддиапазоне катушка длинноволнового поддиапазона отключается от контура и практически не оказывает влияния на работу генератора. В описываемом же генераторе между

катушками обоих поддиапазонов существует сильная связь, поскольку они намотаны на общем ферритовом стержне Поэтому отключенная от схемы катушка длинноволнового поддиапазона оказалась бы индуктивно связанной с катушкой средневолнового поддиапазона. Поскольку собственная емкость катушки длинноволнового поддиапазона образует совместно с ее индуктивностью отсасывающий контур, резонансная частота которого лежит в поддиапазоне средних волн, неизбежным было бы существенное влияние отключенной катушки длинноволнового поддиапазона на работу генератора в поддиапазоне средних волн. Во избежание нарушений работы генератора на этом поддиапазоне применен такой способ коммутации, при котором образование паразитного контура полностью исключается, так как часть катушки длинноволнового поддиапазона (L_1) входит в колебательный контур средневолнового поддиапазона, а другая часть (L_2) закорачивается.

Особенностью описываемого генератора является возможность его связи с имеющим магнитную антенну радиоприемником без применения соединительных проводников. Для создания такой связи достаточно расположить генератор вблизи приемника. Магнитное поле ферритового сердечника контурной катушки генератора воздействует на магнитную антенну настраиваемого (или проверяемого) приемника и возбуждает в ней вынужденные колебания, частота которых устанавливается по шкале настройки генератора. Преимуществом такого способа связи генератора с приемником является возможность настройки последнего в условиях, близких к эксплуатационным. При этом отпадает необходимость в подключении ко входу приемника соединительных проводников.

Как показывает практика, присоединение проводников ко входу настраиваемого приемника в некоторых случаях приводит к нарушению его работы. В особенности это проявляется при настройке малогабаритных приемников прямого усиления, которые из-за тесного монтажа и большого усиления на несущей частоте сигнала часто склонны к самовозбуждению.

С помощью описываемого генератора сравнительно простыми конструктивными средствами достигается регулируемая связь с магнитной антенной настраиваемого приемника Напряженность электромагнитного поля, создаваемого генератором, убывает обратно пропорционально квадрату расстояния между ним и настраиваемым приемником. Это позволяет изменять напряжение, действующее на входе приемника, в широких пределах и учитывать степень его ослабления при удалении генератора от приемника. Кроме того, сигнал можно ослаблять также путем поворота генератора относительно приемника вплоть до минимума, имеющего место при взаимно перпендикулярном расположении ферритового стержня генератора и магнитной антенны приемника.

Генератор может быть индуктивно связан не только с магнитной антенной, но и с любой неэкранированной катушкой, в частности с катушкой входного контура приемника, не имеющего магнитной антенны. Для этого генератор располагается так, чтобы ось его ферритового стержня совпадала с продолжением оси катушки или была параллельна ей. Необходимая величина связи устанавливается удалением генератора от катушки или приближением к ней.

Наряду с рассмотренным способом связи может применяться также и емкостная связь генератора с объектом измерения, для чего достаточно добавить к схеме, изображенной на рис. 41, еще одно

гнездо и соединить его с коллектором транзистора T_3 через конденсатор емкостью 5—10 *пф*. Можно обойтись и без этого, так как достаточно сильная связь получается при наматывании нескольких витков изолированного провода на корпус генератора. Другой конец провода присоединяется к объекту измерения.

Генератор питается от элемента $Б_1$ типа 332 (ФБС-0,25), для включения которого служит выключатель $Вк_1$, спаренный с переменным резистором R_5. Переменные составляющие токов транзисторов генератора замыкаются через блокировочный конденсатор C_6, благодаря чему работоспособность генератора сохраняется при истощении или частичном высыхании элемента $Б_1$.

Детали. В генераторе применяется конденсатор переменной емкости с твердым диэлектриком. Его емкость изменяется в пределах 20—500 *пф*. Могут быть использованы конденсаторы переменной емкости от транзисторных приемников с параллельно соединенными секциями.

Катушки генератора намотаны на ферритовом стержне марки 600НН (Ф-600) длиной 115 *мм* и диаметром 8 *мм* (рис. 42). Катушка L_1 содержит 80 витков, катушка L_2 — 20+80 витков, катушка L_3 — 50 витков провода ЛЭШО 7×0,07, а катушка L_4 — 15 витков провода ПЭЛШО 0,12. Все катушки намотаны в одинаковом направлении. Катушка L_4 однослойная, катушка L_3 двухслойная, остальные катушки намотаны «внавал». Катушка L_3 и часть катушки L_2 намотаны на бумажных гильзах, которые с некоторым трением перемещаются вдоль стержня для регулировки индуктивности этих катушек. Все катушки наматываются в одинаковом направлении, причем их начала и концы должны быть помечены для правильного включения в схему. Рекомендуется применять для изготовления катушек L_1 — L_3 литцендрат, однако при отсутствии его можно намотать катушки L_1 и L_2 проводом ПЭЛШО 0,12—0,2, а катушку L_3 — проводом ПЭЛШО 0,2—0,3. В крайнем случае можно использовать провод ПЭВ такого же диаметра.

Рис. 42. Катушки генератора.

При установке в генераторе конденсатора C_5 с иным значением максимальной емкости данные катушек должны быть изменены. Точный расчет числа витков катушек с учетом их взаимоиндукции довольно сложен, поэтому в данном случае рекомендуется изменять числа витков обратно пропорционально корню квадратному из изменения максимальной емкости конденсатора. Окончательную подгонку индуктивностей катушек можно будет произвести при налаживании генератора.

Переключатель поддиапазонов $П_{1а}$ — $П_{1б}$ — самодельный. Он содержит один общий для обеих групп неподвижный контакт и два подвижных. Его устройство подобно устройству кнопки, показанной на рис. 30, *а*, но отличается от него наличием фиксатора положений. Можно использовать переключатель любой конструкции с небольшими размерами на два положения.

Выключатель питания $Вк_1$ сопряжен с переменным резистором R_5. Сопротивление этого резистора может лежать в пределах 2—10 *ком*. Если же имеется переменный резистор с сопротивлением 0,5—1 *ком*, то резистор R_4 исключается из схемы, а его функции выполняет резистор R_5. При отсутствии переменного резистора с выключателем последний может быть изготовлен самостоятельно из двух контактных пружин от реле.

Гнезда $Г_1$ могут быть любой конструкции. Возможна замена их зажимами.

Устройство контактного держателя для элемента $Б_1$ подобно показанному на рис. 18, *а*, *б*. Габариты генератора позволяют использовать в нем вместо элемента типа 332 (ФБС-0,25) один элемент от батареи типа КБС-Л-0,5. Конструкция держателя при этом не изменяется, но расстояние между его деталями должно быть увеличено соответственно длине устанавливаемого элемента.

Транзисторы T_1 и T_2 типа МП40 имеют коэффициенты усиления $B = 15 \div 25$. Вместо них можно использовать германиевые сплавные транзисторы других типов, в частности МП39, МП41 или МП42. Транзистор T_3 с коэффициентом усиления $B = 30 \div 50$ может быть типа МП41, МП41А или МП42. Возможно также применение в качестве T_3 диффузионных транзисторов, например, типов П402, П403, П403А, П422 или П423. Последний вариант испытан практически и показал целесообразность применения диффузионного транзистора, особенно в случае намотки контурных катушек генератора обычным проводом (не литцендратом). Если в генераторе будет установлен диффузионный транзистор, то число витков катушки обратной связи L_4 должно быть уменьшено до 5—8, поскольку усиление диффузионного транзистора на высокой частоте значительно больше, чем сплавного.

Резисторы и конденсаторы могут быть любых типов. Наиболее пригодны малогабаритные резисторы типов УЛМ, МЛТ-0,25 и МЛТ-0,5, электролитические конденсаторы типов ЭМ и ЭМИ, бумажные — МБМ и БМ. Емкости электролитических конденсаторов могут быть увеличены в несколько раз без ущерба для качества работы генератора.

Конструкция и монтаж. Все детали генератора расположены на монтажной плате из органического стекла (или гетинакса) размерами 124×64×2 *мм*. На одной стороне платы размещаются все детали генератора (рис. 43), на другой, обращенной к крышке корпуса, соединительные проводники. Ферритовый стержень укреплен над платой с помощью стоек из органического стекла. Можно использовать и металлическое крепление, но оно ни в коем случае не должно создавать охватывающих стержень короткозамкнутых витков.

Начала и концы всех катушек генератора должны присоединяться к схеме в строгом соответствии с рис. 41, на котором начала катушек отмечены точками. Несоблюдение этого требования приведет к тому, что генератор высокой частоты не будет самовозбуждаться. Все проволоки литцендрата должны быть тщательно залужены и пропаяны, так как даже несколько непропаянных проволок резко ухудшают добротность катушек. Выводы катушек L_2 и L_3 оставляются достаточно длинными, чтобы можно было свободно перемещать гильзы с этими катушками вдоль ферритового стержня.

Конденсатор переменной емкости C_5 должен включаться в схему так, чтобы его подвижные пластины соединялись с отрицательным полюсом источника питания, а неподвижные — с катушкой L_2.

Транзисторы располагаются на расстоянии 15 *мм* от поверхности платы, благодаря чему длина их выводов достаточна для предотвращения перегрева транзисторов при пайке.

Малогабаритные резисторы и конденсаторы расположены параллельно плате. Если же будут использованы детали бо́льших размеров, то их следует установить перпендикулярно плате, предварительно изогнув их выводы. При таком расположении оказывается возможным применение в генераторе резисторов типа ВС-0,25 и конденсаторов типа КБГ-И.

Пластмассовый корпус генератора состоит из двух разъемных частей и имеет размеры 130×70×38 *мм*. Применение в данном приборе металлического корпуса недопустимо, так как он экранировал бы излучение высокочастотного генератора и даже мог бы нарушить его работу. Монтажная плата с установленными на ней деталями прикреплена ко внутренней стороне крышки корпуса генератора.

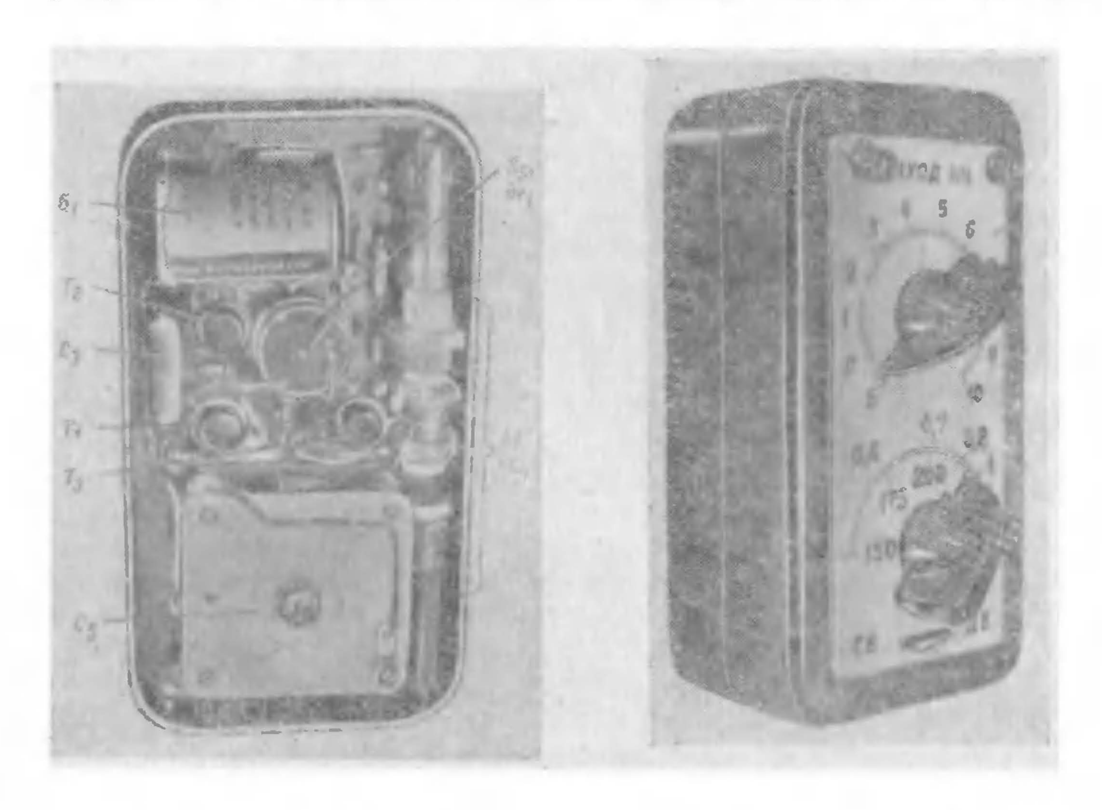


Рис. 43. Монтаж генератора.

Рис. 44. Внешний вид генератора.

На верхней панели генератора (рис. 44) находятся ручка конденсатора C_5 и шкала настройки, ручки переключателя поддиапазонов $П_{1а}$ — $П_{1б}$ и переменного резистора R_5 с выключателем $Вк_1$, а также гнезда $Г_1$. Для большей сохранности желательно закрыть верхнюю панель наличником из тонкого оргстекла или целлулоида.

Налаживание и градуировка. Налаживание генератора начинают с измерения электрического режима транзисторов. Для измерения напряжений необходим вольтметр с пределами 0,5 *в* или 1 *в* и высоким входным сопротивлением. Может быть использован транзисторный вольтметр, описанный в § 18. При отсутствии такого прибора придется ограничиться измерением коллекторных токов транзисторов миллиамперметром, который во избежание нарушения работы генераторов должен быть заблокирован конденсатором

с емкостью порядка 0,1 *мкф*. Примерные значения напряжений и токов в схеме генератора указаны на рис. 41, причем числа в скобках соответствуют работе генератора на средневолновом поддиапазоне. В зависимости от параметров установленных в генераторе транзисторов их реальные режимы могут отличаться от приведенных на рис. 41 на ±30%. В случае необходимости режимы могут быть изменены подбором сопротивлений резисторов R_1, R_3 и R_7.

Работоспособность высокочастотного генератора проверяется с помощью радиоприемника. Желательно использовать приемник с магнитной антенной. Генератор располагают на расстоянии 30—50 *см* от приемника и, переключив их на длинноволновый поддиапазон, устанавливают конденсатор переменной емкости C_5 в среднее положение. Настраивают приемник на частоту генератора и, изменяя их взаимное расположение, ослабляют сигнал до такой степени, чтобы приемник не перегружался. При малой чувствительности приемника и отсутствии в нем магнитной антенны может оказаться полезным присоединение к его антенному гнезду короткого проводника, конец которого приближается к генератору.

Постепенно увеличивая емкость конденсатора C_5 и перестраивая приемник в сторону уменьшения частоты, достигают низкочастотного конца длинноволнового поддиапазона. Устанавливают конденсатор C_5 в положение, близкое к максимальной емкости (с запасом примерно в 10% шкалы), настраивают приемник на низшую частоту поддиапазона длинных волн, равную 150 *кгц*, и добиваются приема сигнала перемещением гильзы с частью катушки L_2 вдоль ферритового стержня. После этого проверяют перекрытие поддиапазона, перестраивая приемник и генератор к его высокочастотному концу. Перекрытие должно осуществляться с некоторым избытком, так что частота 400 *кгц* должна генерироваться при не полностью выведенных пластинах конденсатора C_5 (с запасом примерно в 10% шкалы).

Закончив настройку длинноволнового поддиапазона, переключают приемник и генератор на поддиапазон средних волн, настраивают приемник на низшую частоту поддиапазона, равную в большинстве приемников 525 *кгц*, и устанавливают емкость конденсатора C_5, близкую к максимальной (10% от конца шкалы). Перемещением гильзы с катушкой L_3 добиваются приема сигнала генератора. Затем проверяют перекрытие средневолнового поддиапазона (до частоты 1 600 *кгц*).

В некоторых случаях из-за разброса фактических значений магнитной проницаемости отдельных экземпляров ферритовых стержней и не поддающегося точному количественному учету влияния окружающих стержень деталей генератора индуктивности катушек могут настолько отличаться от требуемых, что перемещением подвижных катушек не удается установить выбранные границы поддиапазонов. В таких случаях придется изменить индуктивности катушек путем отматывания или доматывания небольшого числа витков.

После установки границ поддиапазонов и проверки их перекрытия гильзы с подвижными катушками закрепляют на ферритовом стержне при помощи капли клея или расплавленного воска и приступают к градуировке шкалы генератора. Для этого последовательно устанавливают на шкале приемника частоты 150, 175, 200, ..., 400 *кгц*, настраивают генератор на эти частоты при минимальной связи его с приемником и наносят соответствующие деления на шкалу генератора. На длинноволновом поддиапазоне цена деления равна 25 *кгц*. При градуировке средневолнового поддиапазона на шкалу генератора наносят деления, соответствующие частотам 600, 650, 700, ..., 1 600 *кгц*, т. е цена деления равна 50 *кгц*. Большей точности градуировки не требуется, так как генератор предназначен в основном для налаживания любительских радиоприемников.

Поддиапазоны генератора перекрываются со значительным запасом, благодаря чему верхняя граница длинноволнового поддиапазона может быть увеличена до 500 *кгц*. Расширение этого поддиапазона особенно легко осуществить в случае применения в генераторе конденсатора C_5 с начальной емкостью, меньшей указанной на рис. 41. Этому условию удовлетворяет большинство конденсаторов переменной емкости от транзисторных приемников. Расширение длинноволнового поддиапазона целесообразно, так как оно позволяет получить от генератора частоту 465 *кгц* и использовать ее для настройки контуров промежуточной частоты радиоприемников.

Для градуировки генератора на частоте 465 *кгц* может быть применен любой промышленный супергетеродинный приемник с промежуточной частотой 465 ± 2 *кгц*. Во избежание ложных настроек рекомендуется выключить гетеродин приемника. Для этого достаточно замкнуть гетеродинную секцию конденсатора переменной емкости приемника, отключить питание гетеродина, вынуть из панельки преобразовательную лампу (в ламповом приемнике) и т. п. Генератор слабо связывается со входом усилителя промежуточной частоты приемника. Изменяя частоту генератора, добиваются индикации его сигнала приемником и наносят на шкалу генератора деление, соответствующее 465 *кгц*.

Ручка переменного резистора R_5 снабжается шкалой с равномерными делениями 0, 1, ..., 10, что позволяет ориентировочно оценить ослабление низкочастотного напряжения на гнездах $Г_1$ при вращении ручки резистора.

По окончании градуировки шкалы с делениями и надписями вычерчиваются тушью на плотной бумаге, которая после обрезки краев прижимается к верхней панели генератора прозрачным наличником (см. рис. 44).

Эксплуатация. Подлежащий настройке приемник располагается вблизи генератора так, чтобы его магнитная антенна была параллельна ферритовому стержню генератора. По мере настройки приемника и возрастания его чувствительности необходимо во избежание перегрузки приемника сильным сигналом удалять его от генератора или поворачивать относительно него. При настройке отдельных колебательных контуров генератор связывают с ними индуктивно или с помощью проводника, один конец которого обматывается вокруг корпуса генератора.

Для проверки и регулировки низкочастотных цепей сигнал снимается с гнезд $Г_1$ генератора, а его напряжение регулируется с помощью переменного резистора R_5.

Глава седьмая

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ, ИНДУКТИВНОСТИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ

23. Приставка для измерения емкостей и индуктивностей

Приставка предназначена для измерения емкостей и индуктивностей резонансным методом в сочетании с генератором сигналов или с радиоприемником. Пределы измерения емкости 25—750 пф, пределы измерения индуктивности с помощью генератора сигналов 2—50 000 мкгн, с помощью радиоприемника 15—22 000 мкгн. Габариты приставки 115×65×50 мм, вес 210 г

Принципиальная схема. Приставка представляет собой последовательный колебательный контур, образованный катушкой индуктивности L_1 и конденсатором переменной емкости C_1 (рис. 45). Шкала конденсатора C_1 проградуирована в единицах емкости (пикофарадах).

Для измерения емкости переключатель $П_1$ устанавливается в нижнее (по схеме) положение, гнезда $Г_1$ соединяются с выходом генератора сигналов, а к гнездам $Г_3$ присоединяется индикатор резонанса. В качестве индикатора может использоваться электронный вольтметр с высокочастотным детекторным пробником. При отсутствии электронного вольтметра индикатором резонанса могут служить высокоомные головные телефоны, например, типов ТА-4, ТОН-2 и др. Последовательно с телефонами включается точечный полупроводниковый диод любого типа, и эта цепочка с присоединенным параллельно ей резистором порядка 100 *ком* включается в гнезда $Г_3$ приставки. Разумеется, при использовании головных телефонов выходное напряжение генератора должно быть промодулировано по амплитуде.

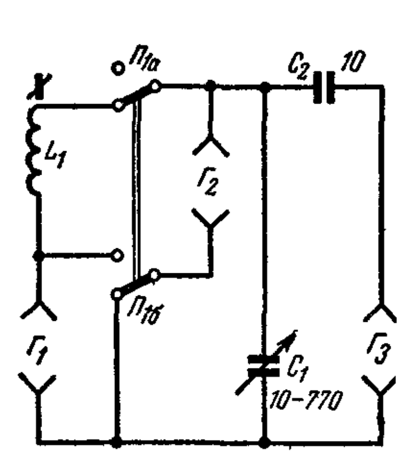


Рис. 45. Принципиальная схема приставки для измерения емкостей и индуктивностей.

При настройке генератора на частоту колебательного контура в последнем возникает резонанс напряжений и напряжение на конденсаторе C_1 резко возрастает, что регистрируется индикатором, присоединенным к нему через конденсатор малой емкости C_2. После подключения измеряемого конденсатора C_x к гнездам $Г_2$, т. е. параллельно конденсатору C_1, контур расстраивается относительно частоты генератора и расстройка отмечается индикатором. Для восстановления резонанса необходимо уменьшить емкость конденсатора C_1 на величину, равную емкости C_x. Поэтому измеряемая емкость C_x равна разности первоначальной и вновь установленной емкостей конденсатора C_1, которые отсчитываются по его шкале.

При измерении индуктивности переключатель $П_{1а}$ — $П_{1б}$ переводится в верхнее (по схеме) положение, измеряемая катушка подключается к гнездам $Г_2$ и образует с конденсатором переменной емкости C_1 последовательный колебательный контур. Перестройкой частоты генератора или изменением емкости конденсатора C_1 достигают резонанса напряжений, отмечаемого индикатором. После этого искомая индуктивность L_x вычисляется по известным частоте генератора f и емкости конденсатора C_1 в соответствии с формулой (30).

Измерение емкости и индуктивности можно производить также с помощью радиоприемника. В этом случае не требуются генератор сигналов и индикатор резонанса, что существенно облегчает выполнение измерений и делает их более доступными для радиолюбителей, не располагающих этими приборами

Для измерения емкости переключатель $П_{1а}$—$П_{1б}$ устанавливается в нижнее положение и гнезда $Г_1$ подключаются параллельно антенному входу (к гнездам антенны и заземления) радиоприемника, который настраивается на хорошо слышимую радиостанцию. Изменяя емкость конденсатора C_1, настраивают контур приставки на частоту принимаемой станции. При резонансе напряжений сопротивление колебательного контура приставки переменному току с частотой этой радиостанции становится весьма малым и практически весь поступающий из антенны ток ответвляется через контур приставки на землю, вследствие чего прием резко ослабляется. Отметив емкость конденсатора C_1, подключают измеряемый конденсатор C_x к гнездам $Г_2$ и вновь настраивают контур приставки на минимум слышимости станции, для чего емкость конденсатора C_1 должна быть уменьшена на величину измеряемой емкости C_x. После этого определяют C_x как разность первоначальной и вновь установленной емкостей конденсатора C_1.

Индуктивность измеряется при установке переключателя $П_{1а}$ — $П_{1б}$ в верхнее положение. Измеряемая катушка включается в гнезда $Г_2$, и приемник настраивается на радиостанцию, частота которой должна быть известна или отсчитана по шкале настройки приемника. Изменяя емкость конденсатора C_1, перестраивают образованный им совместно с измеряемой катушкой L_x последовательный контур до ослабления сигнала принимаемой станции. Отсчитав емкость конденсатора C_1 по шкале приставки, рассчитывают индуктивность L_x по формуле (30).

Использование в описываемой схеме последовательного колебательного контура представляет некоторые преимущества по сравнению с параллельным контуром. Сопротивление последовательного контура при резонансе мало и хорошо согласуется с низким выходным сопротивлением генератора сигналов. Подключаемые к приставке генератор или антенный вход приемника практически не расстраивают ее контура и не нарушают градуировки ее шкалы. В принципе возможно также применение параллельного контура (см. § 11), однако практически это нецелесообразно из-за заметной расстройки, вносимой в него генератором или антенной, и конструктивных неудобств, связанных с невозможностью заземления подвижных пластин конденсатора переменной емкости. Поэтому следует отдать предпочтение схеме с последовательным контуром, положенной в основу схемы описываемой приставки.

Детали. В приставке установлен двухсекционный конденсатор переменной емкости C_1 с твердым диэлектриком. Емкость каждой секции изменяется в пределах 5—385 *пф*. Обе секции соединены параллельно, так что максимальная емкость конденсатора C_1 равна 770 *пф*. Могут использоваться другие конденсаторы, в том числе с воздушным диэлектриком, желательно с возможно большей ма-

ксимальной емкостью, так как ее увеличение позволит расширить пределы измерения приставки.

Для получения острого резонанса напряжений требуется высокая добротность катушки L_1. В описываемой конструкции в качестве L_1 использованы две намотанные литцендратом катушки от фильтра промежуточной частоты, которые соединены последовательно и имеют подстроечные сердечники из карбонильного железа. Общая индуктивность обеих катушек с учетом взаимоиндукции между ними 550 *мкгн.* Для самостоятельного изготовления катушки L_1 рекомендуются следующие данные: 220 витков провода ЛЭШО 10×0,07, намотка «внавал» шириной 10 *мм* на каркасе наружным диаметром 12 *мм.* В катушку должен вводиться подстроечный сердечник из карбонильного железа, который можно заменить частью ферритового стержня марки 600НН (Ф-600) длиной 10—15 *мм*, отделенной от магнитной антенны. Могут использоваться готовые катушки индуктивностью 500—600 *мкгн.*

Конденсатор постоянной емкости C_2 — керамический, типа КТК или КДК.

Переключатель $П_{1а}$ — $П_{1б}$ — типа ТП1-2. Вместо него можно применить галетный переключатель.

Гнезда $Г_1$ — $Г_3$ — обычной конструкции, могут быть заменены зажимами.

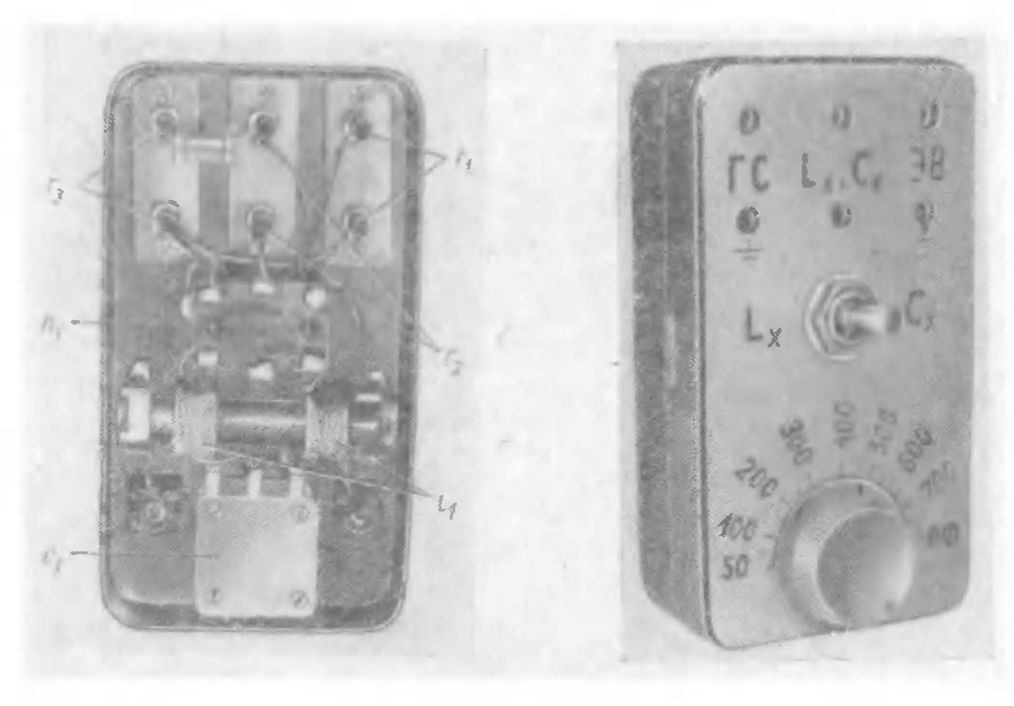


Рис. 46. Монтаж приставки.

Рис. 47. Внешний вид приставки.

Конструкция и монтаж. Детали приставки смонтированы на гетинаксовой плате размерами 110×60×2 *мм* с углами, закругленными радиусом 10 *мм* (рис. 46). Электрический монтаж приставки выполнен проводом в полихлорвиниловой изоляции. Монтажная плата заключена в металлический корпус размерами 115×65××35 *мм.* Корпус должен иметь электрическое соединение с выводом подвижных пластин конденсатора C_1.

На верхней панели приставки (рис. 47) расположены ручки конденсатора C_1 и переключатели $П_{1а}$ — $П_{1б}$, а также имеются отверстия для включения штекерных вилок в гнезда $Г_1$ — $Г_3$. Шкала приставки вычерчена тушью на плотной бумаге и прижимается к верхней панели наличником из тонкого оргстекла.

Градуировка. Погрешность измерения емкостей и индуктивностей с помощью приставки зависит от тщательности градуировки ее шкалы. Шкала конденсатора C_1 должна быть проградуирована в единицах емкости (пикофарадах). На практике могут применяться различные методы градуировки в зависимости от имеющихся в распоряжении конструктора измерительных приборов.

В условиях радиолаборатории можно проградуировать шкалу конденсатора C_1, измеряя его емкость при различных углах поворота подвижных пластин с помощью соответствующего прибора, например высокочастотного измерителя индуктивностей и емкостей типа Е12-1 (ИИЕВ-1) или универсального моста типа Е12-2 (УМ-3).

В некоторых случаях градуировка шкалы приставки может быть произведена на основании паспортных данных примененного в ней конденсатора переменной емкости. Например, емкости каждой из двух секций конденсатора переменной емкости от радиолы «Латвия» при углах поворота его подвижных пластин 0, 20, 45, 90, 120, 155 и 180° равны соответственно $10{,}5 \pm 1$; 33 ± 1; $72 \pm 1{,}5$; 166 ± 2; 259 ± 2; 398 ± 3 и 513 ± 5 *пф.*

Если зависимость емкости конденсатора от угла поворота подвижных пластин неизвестна и нет приборов для ее измерения, то градуировка шкалы приставки может быть произведена с помощью образцовых конденсаторов, в качестве которых пригодны слюдяные или керамические конденсаторы любых типов с допуском ±5%. Градуировка может быть выполнена с применением генератора сигналов и индикатора резонанса или же с применением радиоприемника.

Генератор сигналов присоединяют к гнездам $Г_1$, а индикатор резонанса (электронный вольтметр с высокочастотным пробником или головные телефоны с точечным диодом) — к гнездам $Г_3$. Настроив генератор на частоту 250 *кгц*, отпаивают конденсатор C_1 приставки и подключают к гнездам $Г_2$ образцовый конденсатор емкостью 750 *пф.* Вращением подстроечного сердечника катушки L_1 добиваются резонанса, отмечаемого индикатором. После этого отключают образцовый конденсатор, припаивают конденсатор C_1 и изменяют его емкость до восстановления резонанса. Очевидно, при этом емкость конденсатора C_1 равна 750 *пф*, и на его шкалу наносится соответствующее деление. Затем подключают к гнездам $Г_2$ образцовый конденсатор емкостью 50 *пф* (два конденсатора по 100 *пф*, соединенные последовательно) и уменьшают емкость конденсатора C_1 до восстановления резонанса. Новое значение емкости C_1 равно 750 *пф* — —50 *пф*=700 *пф*, и на шкалу наносится деление 700 *пф.* Аналогично, подключив к гнездам $Г_2$ образцовый конденсатор емкостью 100 *пф*, можно получить на шкале деление, соответствующее емкости 750 *пф* — 100 *пф* = 650 *пф* и т. д. Таким способом производится градуировка шкалы вплоть до минимального значения емкости. Во время градуировки переключатель $П_{1а}$ — $П_{1б}$ должен находиться в нижнем (по схеме) положении.

При отсутствии генератора сигналов и индикатора резонанса градуировка приставки производится с помощью радиоприемника и образцовых конденсаторов. Методика градуировки аналогична описанной выше, за исключением того, что сигнал генератора заменяется сигналом радиовещательной станции, а индикатором резонанса служит радиоприемник.

Радиоприемник настраивается на одну из радиостанций, работающих на участке 225—275 *кгц* длинноволнового диапазона. Отпаяв конденсатор C_1, устанавливают переключатель $П_{1а}$—$П_{1б}$ в нижнее положение и присоединяют гнезда $Г_1$ параллельно антенному входу приемника. В гнезда $Г_2$ включают образцовый конденсатор емкостью 750 *пф* и вращением подстроечного сердечника катушки L_1 добиваются ослабления или даже полного прекращения приема радиостанции. Отключив образцовый конденсатор, припаивают конденсатор C_1 и изменяют его емкость до повторного ослабления сигнала станции. При этом емкость конденсатора C_1 равна 750 *пф*, и на его шкалу наносится соответствующее деление. Далее подключают к гнездам $Г_2$ образцовый конденсатор емкостью 50 *пф*, и емкость конденсатора C_1 уменьшается до нового ослабления приема, что соответствует делению шкалы 700 *пф* и т. д. Таким образом, подключая образцовые конденсаторы различной емкости, градуируют шкалу приставки на всем ее протяжении, вплоть до минимальной емкости.

Градуировка шкалы по образцовым конденсаторам несложна и обеспечивает достаточную для любительских измерений точность. С целью уменьшения погрешностей измерения рекомендуется произвести градуировку дважды и, если деления шкалы, полученные в обоих случаях, не совпадут, усреднять их положение на шкале приставки.

Эксплуатация. Измеряемые катушки и конденсаторы должны подключаться к приставке короткими проводниками, снабженными на одном конце зажимами «крокодил», а на другом — однополюсными вилками. Скручивать их в жгут нельзя.

Методика измерений подробно описана выше. В случае измерений с помощью генератора сигналов и индикатора резонанса необходимо по мере приближения к резонансу уменьшать напряжение, подводимое от генератора к приставке.

Для измерений с помощью радиоприемника могут использоваться сигналы любых радиостанций, работающих в диапазонах длинных и средних волн, однако малые емкости лучше измерять, принимая сигналы радиостанций на высокочастотном участке средневолнового диапазона При таком выборе частоты принимаемой радиостанции отсчет емкости будет производиться в той части шкалы приставки, которая соответствует малым емкостям, и погрешность измерений будет меньшей, чем на других участках шкалы. Для повышения точности измерений желательно производить их, принимая сигналы двух различных радиостанций, и затем усреднять результаты измерений.

Пределы измерения емкостей как с помощью генератора сигналов, так и с помощью радиоприемника одинаковы: 25 — 750 *пф*. Пределы измерения индуктивностей с помощью генератора сигналов зависят от граничных значений генерируемых им частот. Например, при использовании генератора сигналов, описанного в § 21, можно измерять индуктивности в пределах 2—50 000 *мкгн*. Пределы измерения индуктивностей с помощью радиоприемника зависят от диапазона принимаемых им частот. При использовании радиоприемника, имеющего длинноволновый (150—408 *кгц*) и средневолновый (525—1 605 *кгц*) диапазоны, можно измерять индуктивности в пределах 15—22 000 *мкгн*.

Для измерения индуктивности и емкости желательно применять приемник без магнитной антенны и подключать к его входу наружную или комнатную антенну. Если же приемник имеет магнитную антенну и не снабжен ее выключателем, то для ослабления приема на магнитную антенну необходимо ориентировать ее на минимум приема радиостанции, так чтобы ее сигнал поступал на вход приемника только от наружной (или комнатной) антенны.

24. Измеритель сопротивлений и емкостей

Измеритель предназначен для измерения сопротивлений в пределах 0,1—100 Мом и емкостей в пределах 0,01—100 мкф с погрешностью не более 5%. Сопротивления свыше 100 Мом измеряются с погрешностью не более 20%. Измеритель питается от двух батарей типа 31-САМГЦ-0,02 или от транзисторного преобразователя напряжения, первичным источником питания которого служит один элемент типа 332 (ФБС-0,25). Возможно питание от внешнего источника постоянного тока напряжением 60—80 в. Габариты измерителя 175×110×75 мм, вес (с внутренним источником питания) не более 1 кг.

Принцип действия. Применяемые в радиолюбительской практике авометры позволяют измерять сопротивления со значительной погрешностью — порядка 5—10%. Однако и эти погрешности гарантируются лишь в средней части шкалы сопротивлений, начало которой сильно сжато, что затрудняет отсчет больших сопротивлений. Поэтому измерять сопротивления свыше 1 *Мом* с помощью авометров удается лишь ориентировочно. Что же касается измерения емкостей, то оно может производиться некоторыми авометрами (например, Ц-55, Ц-57), однако с невысокой точностью.

В ряде практических случаев измерение и подбор сопротивлений должны производиться с большой точностью, особенно при изготовлении делителей напряжения и добавочных резисторов к вольтметрам. Изготовление измерительной аппаратуры сопряжено также с необходимостью измерения и подбора емкости конденсаторов. Применение для этих целей метода вольтметра — амперметра мало приемлемо в любительской практике, так как для измерения токов и напряжений необходим высокочувствительный и притом достаточно точный прибор.

Измерения сопротивлений и емкостей мостовым методом могут дать довольно точные результаты при наличии чувствительного индикатора равновесия моста. Кроме того, при измерениях на переменном токе необходимы тщательная экранировка элементов моста и чисто синусоидальная форма питающего мост напряжения. Невыполнение этих условий вызывает значительное возрастание погрешностей измерения из-за невозможности получить на индикаторе резкий минимум, т. е. точно уравновесить мост. Таким образом, изготовление в любительских условиях измерительного моста переменного тока достаточно сложно

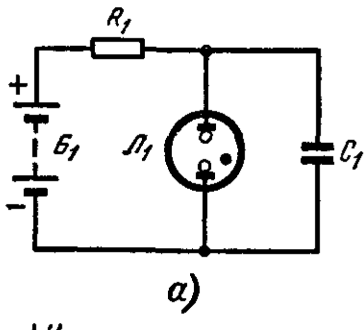
Поскольку метод вольтметра — амперметра и метод моста затруднительно использовать для измерения сопротивлений и емкостей с повышенной точностью, целесообразно обратиться к методу, основанному на периодическом заряде и разряде конденсатора. При этом наиболее приемлемым для радиолюбителей является такой вариант метода, при котором не требуется дефицитного и дорогостоящего стрелочного измерительного прибора.

В описываемой конструкции для измерения сопротивлений и емкостей используются процессы, происходящие в схеме релаксационного генератора на неоновой лампе, изображенной на рис. 48, *а*.

При включении источника питания $Б_1$ конденсатор C_1 начинает заряжаться через резистор R_1, причем ток, протекающий через неоновую лампу $Л_1$, практически равен нулю, так как ее сопротивление (до зажигания) весьма велико. По мере заряда конденсатора C_1 скорость возрастания напряжения на его обкладках уменьшается, однако оно продолжает увеличиваться вплоть до напряжения зажигания неоновой лампы $U_з$. Процесс заряда конденсатора через резистор графически изображается участком кривой OA на рис. 48, *б*, на котором представлена зависимость напряжения на конденсаторе от времени.

В момент, когда напряжение на конденсаторе становится равным напряжению зажигания неоновой лампы $U_з$, происходит ионизация наполняющего ее газа и сопротивление межэлектродного промежутка лампы резко уменьшается. Конденсатор быстро разряжается через лампу, причем возникает свечение газа в виде кратковременной, но достаточно яркой вспышки. Разряд конденсатора продолжается до тех пор, пока напряжение на нем не уменьшится до напряжения погасания неоновой лампы $U_п$ (участок кривой AB на рис. 48, *б*).

После погасания лампы восстанавливается высокое сопротивление ее межэлектродного промежутка и разряд конденсатора прекращается. Затем вновь происходит заряд конденсатора до напряжения зажигания лампы (участок кривой BC на рис. 48, б) и в дальнейшем процессы в схеме релаксационного генератора периодически повторяются.



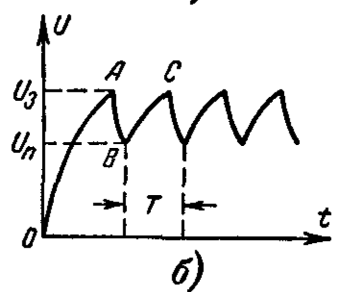


Рис. 48. Релаксационный генератор на неоновой лампе.

а — схема; *б* — зависимость напряжения на конденсаторе от времени.

Теория показывает, а практические измерения подтверждают, что период колебаний напряжения на конденсаторе в схеме, изображенной на рис. 48,*а*, равен:

$$T_1 = kR_1C_1, \qquad (39)$$

где k — коэффициент, зависящий от напряжения источника питания и параметров неоновой лампы; R_1 — сопротивление резистора; C_1 — емкость конденсатора.

Если заменить резистор с известным сопротивлением R_1 резистором, сопротивление которого R_x неизвестно, то период колебаний изменится и станет равным

$$T_2 = kR_xC_1. \qquad (40)$$

Исключив из уравнений (39) и (40) величины k и C_1, можно определить неизвестное сопротивление

$$R_x = R_1\frac{T_2}{T_1}. \qquad (41)$$

Аналогично можно показать, что при замене конденсатора известной емкости C_1 конденсатором, емкость которого C_x неизвестна, она может быть определена по формуле

$$C_x = C_1\frac{T_2}{T_1}. \qquad (42)$$

Описанное выше явление и выражения (41), (42) положены в основу прибора, предназначенного для измерения сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов. Очевидно, что для нахождения неизвестной величины R_x или C_x необходимо иметь соответственно образцовый резистор или конденсатор и измерять периоды вспышек неоновой лампы.

Периоды T_1 и T_2 вспышек неоновой лампы могут быть измерены специальными приборами. Однако в любительских условиях их сравнительно легко измерить визуально с помощью секундомера, если T_1 и T_2 превышают 0,5 *сек*. Для повышения точности измерения R_x или C_x целесообразно измерять не один период, а соответствующее время, в течение которого произойдет 10 (или другое достаточно большое число) вспышек.

Принципиальная схема. Схема прибора состоит из источника $Б_1$, переключателя рода работы $П_{1а} — П_{1б}$, образцовых резисторов $R_1 — R_4$, образцовых конденсаторов $C_1 — C_4$, переключателя пределов измерения $П_{2а} — П_{2б}$, неоновой лампы $Л_1$ и ограничительного резистора R_5 (рис. 49).

В положении *1* переключателя $П_{1а} — П_{1б}$ прибор выключен, в положении *2* производится измерение сопротивлений, в положении *3* — калибровка (определение периода колебаний T_1 при включении в схему образцовых резисторов и конденсаторов) и в положении *4* — измерение емкостей.

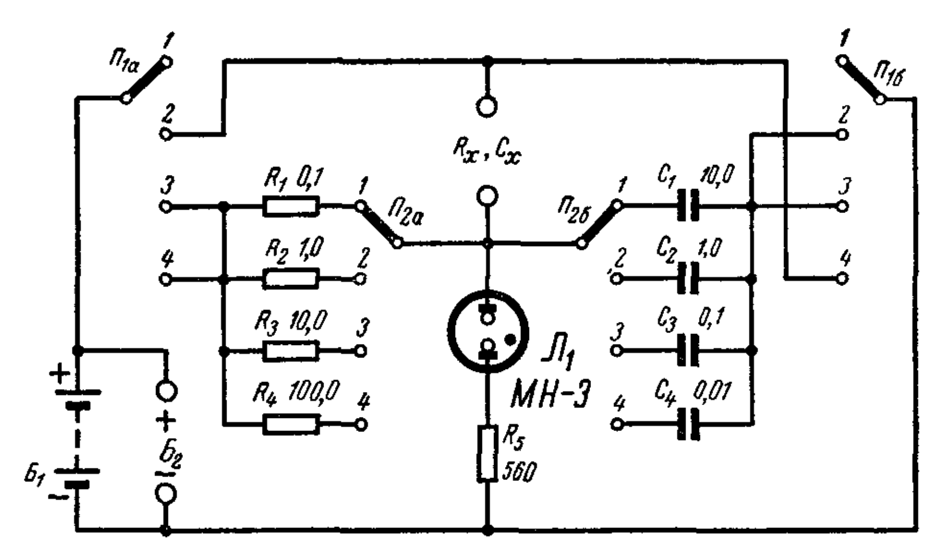


Рис. 49. Принципиальная схема измерителя сопротивлений и емкостей.

Переключатель $П_{2а} — П_{2б}$ вводит в схему релаксационного генератора образцовые резисторы $R_1 — R_4$, сопротивления которых равны соответственно 0,1; 1; 10 и 100 *Мом*, и образцовые конденсаторы, имеющие емкости соответственно 10; 1; 0,1 и 0,01 *мкф*. При выбранных значениях сопротивлений и емкостей образцовых деталей период колебаний при калибровке получается равным примерно 1 *сек*, что позволяет без затруднений сосчитать вспышки неоновой лампы. Резистор R_5 предохраняет ее от чрезмерно сильных токов при разряде конденсаторов большой емкости C_1 и C_2.

Для питания прибора от внешнего источника тока в схеме предусмотрены гнезда $Б_2$, присоединенные параллельно внутренней батарее $Б_1$.

Детали. Резисторы R_1 и R_2 составлены из нескольких резисторов типа УЛИ, соединенных последовательно. Могут применяться резисторы типа ВС или МЛТ с допуском ±5%. Резистор R_3 подобран из двух резисторов типа МЛТ-0,5 сопротивлением 5,1 *Мом* с допуском ±5%, соединенных последовательно. Резистор R_4 составлен из последовательно соединенных 15 резисторов типа МЛТ-0,5 сопротивлением 5,1 *Мом* с допуском ±5% и 5 резисторов типа МЛТ-0,5 сопротивлением 4,7 *Мом* с допуском ±5%. Резисторы заключены в коробочку из полистирола, крышка которой приклеена полистирольным клеем, что делает ее влагонепроницаемой. Резистор R_5 типа МЛТ-0,5 сопротивлением 560 *ом* с допуском ±10%.

Конденсатор C_1 типа МБГП с допуском ±5%. Конденсаторы C_2 и C_3 типа КБГ-МП с допуском ±5%. Конденсатор C_4 типа КБГ-И или КСО с допуском ±5%.

В приборе могут использоваться детали других типов, подобранные с погрешностью по крайней мере не ниже ±5%. При возможности следует измерить фактические значения сопротивлений и емкостей устанавливаемых в приборе деталей с помощью измерительного моста, например, типа Е12-2 (УМ-3). Если измерить сопротивления и емкости невозможно, то следует установить в приборе ранее не бывшие в употреблении детали, особенно резисторы. Рекомендуется применять состарившиеся, т. е. хранившиеся без употребления в течение года или более детали.

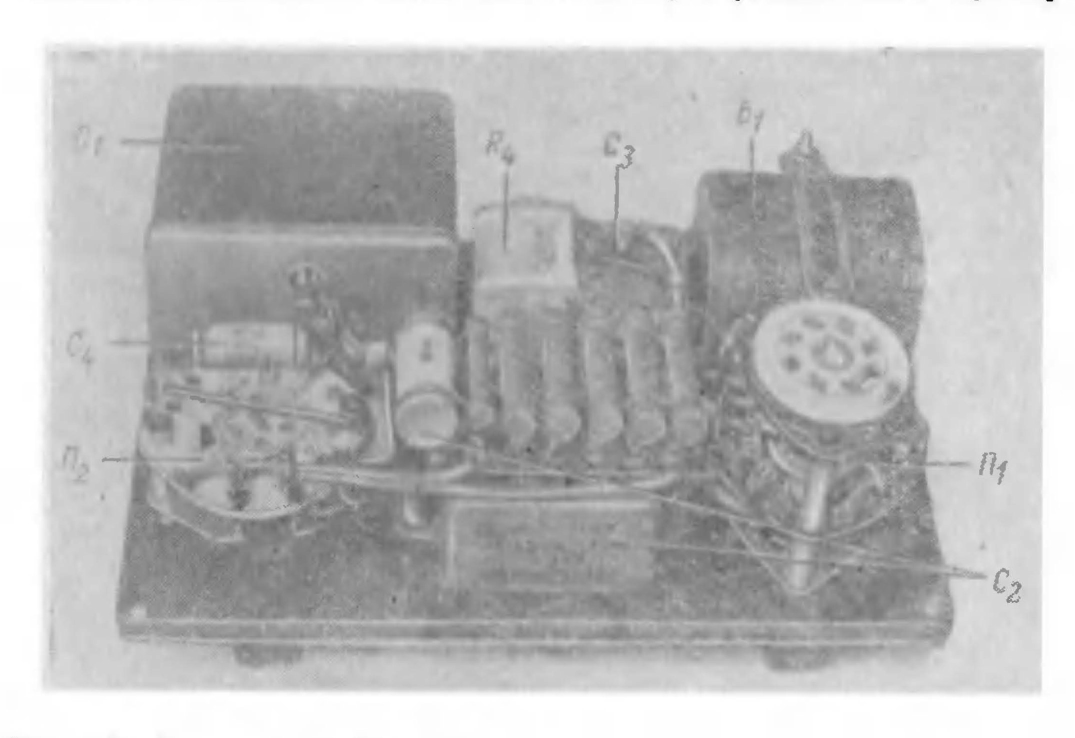


Рис. 50. Монтаж измерителя.

Переключатель $П_{2а} — П_{2б}$ должен иметь керамическую плату, так как сопротивление обычных гетинаксовых плат соизмеримо с сопротивлением резистора R_4, что привело бы к возрастанию погрешности измерения больших сопротивлений (свыше 100 *Мом*) и малых емкостей (менее 0,1 *мкф*). Переключатель $П_{1а} — П_{1б}$ — любого типа.

Измерение высокоомных сопротивлений и малых емкостей с достаточной точностью возможно только при минимальной утечке между зажимами R_x, C_x, которые должны поэтому устанавливаться на высококачественном изоляционном материале, например оргстекле или полистироле.

В качестве гнезд $Б_2$ использована ламповая панелька типа ПЛК-8. Неоновую лампу $Л_1$ типа МН-3 перед установкой в прибор следует тренировать в течение нескольких десятков часов постоянным током 1 *ма*. Для этого лампу последовательно с резистором сопротивлением 0,2—0,3 *Мом* присоединяют к источнику тока напряжением 200—300 *в*, в качестве которого можно использовать любой выпрямитель. Тренировка и последующая работа лампы в схеме измерителя должны происходить с обязательным соблюдением полярности ее включения. Отрицательный электрод (катод) лампы МН-3 выведен на металлический цилиндр ее цоколя. Из-за невысокого качества изоляции цоколя возможны, особенно при повышенной влажности, утечки тока по ее поверхности. Во избежание этого следует, припаяв к цоколю соединительные проводники, протереть его ацетоном, бензолом или бензином, прогреть и немедленно покрыть полистирольным клеем (клей БФ-2 для этой цели не пригоден из-за заметной электропроводности). Улучшить изоляцию между выводами лампы можно также, сняв с нее цоколь, однако выполнять эту операцию необходимо с большой осторожностью.

Кроме лампы МН-3, в приборе могут быть использованы неоновые лампы других типов, для чего потребуется несколько увеличить напряжение питания схемы. Практически были испытаны лампы типов МН-6 и МН-8 (ТН-0,2). Работа прибора при этом не ухудшилась.



Рис. 51. Внешний вид измерителя.

В качестве источника питания прибора используется батарея $Б_1$, составленная из двух последовательно соединенных батарей типа 31-САМГЦ-0,02, или описанный ниже транзисторный преобразователь напряжения, первичным источником питания которого является один элемент типа 332 (ФБС-0,25). Кроме того, могут применяться наружные батареи любых типов напряжением 60—80 *в*, подключаемые к гнездам $Б_2$.

Конструкция и монтаж. Все детали прибора укреплены на гетинаксовой монтажной плате размерами 175×110×3 *мм* (рис. 50). Резисторы, из которых составлены R_1 и R_2, распаяны на гетинаксовой планке с контактными лепестками. Резисторы, образующие R_3, распаяны на планке из полистирола. Коробочка с цепочкой резисторов R_4 и конденсаторы $C_1 — C_3$ привинчены к монтажной плате. Неоновая лампа $Л_1$ укреплена на плате с помощью цилиндрического держателя. В плате имеется отверстие диаметром 16 *мм*, сквозь которое проходит баллон лампы.

Переключатели $П_{1а} — П_{1б}$ и $П_{2а} — П_{2б}$ привинчены к плате. Панелька типа ПЛК-8, используемая в качестве гнезд $Б_2$, укреплена на переключателе $П_{1а} — П_{1б}$.

Две батареи типа 31 САМГЦ 0,02, соединенные последовательно, помещаются в картонном футляре, который крепится к плате

Электрический монтаж прибора выполнен проводниками в полихлорвиниловой изоляции, частично увязанными в жгуты.

При пайке следует применять твердую канифоль в минимальном количестве. Использование каких-либо жидких флюсов не рекомендуется, так как, растекаясь по поверхности изоляции деталей и монтажных планок, они значительно увеличивают нежелательные утечки. Монтажная плата со смонтированными на ней деталями заключена в пластмассовый корпус размерами 175×110×50 *мм*. Внешняя сторона платы является передней панелью прибора, на которую выведены ручки переключателей $П_{1а}$ — $П_{1б}$ и $П_{2а}$ — $П_{2б}$, зажимы R_x, C_x и купол баллона неоновой лампы $Л_1$, прикрытый колпачком с защитным стеклом (рис. 51). Необходимые надписи и обозначения выполнены белой краской (гуашью) на черной бумаге, прижатой к передней панели наличником из тонкого оргстекла.

Источники питания. Кроме галетных батарей типа 31-САМГЦ-0,02, прибор может питаться от внешнего источника, в качестве которого пригодна любая батарея напряжением 60—80 *в*, например батарея типа 75-АМГЦ-22ч.

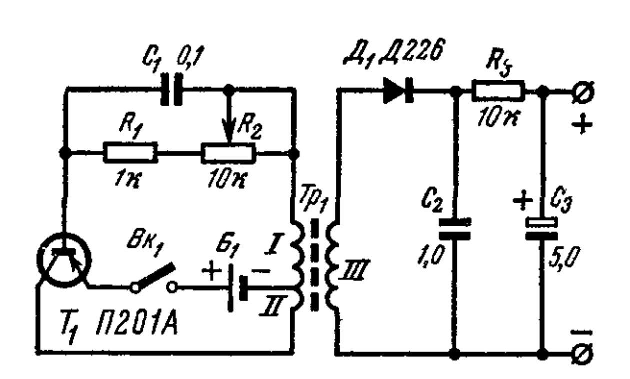


Рис. 52. Принципиальная схема преобразователя напряжения.

Удобно осуществлять питание прибора от маломощного транзисторного преобразователя напряжения, принципиальная схема которого приведена на рис. 52. Преобразователь напряжения представляет собой блокинг-генератор, собранный на транзисторе T_1 и питающийся от элемента $Б_1$. Повышающая обмотка *III* трансформатора $Тр_1$ питает однополупериодный выпрямитель на диоде $Д_1$. Пульсации выпрямленного напряжения сглаживаются П-образным фильтром $C_2R_3C_3$. Величина выходного напряжения преобразователя регулируется переменным резистором R_2, спаренным с выключателем питания $Вк_1$.

Трансформатор $Тр_1$ намотан на Ш-образном сердечнике сечением 0,5 *см*² из феррита марки 2000НМ (использован сердечник от трансформатора типа БТК-П, применяемого в унифицированных телевизорах УНТ-47 и УНТ-59). Все обмотки намотаны в одинаковом направлении и содержат: *I* — 125 витков провода ПЭВ 0,1; *II* — 50 витков провода ПЭВ 0,15; *III* — 4 000 витков провода ПЭВ 0,05—0,07.

При указанных данных трансформатора на выходе преобразователя развивается напряжение холостого хода до 90—110 *в*. После подключения к преобразователю измерителя сопротивлений и емкостей выходное напряжение уменьшается примерно до 70—80 *в*, причем максимальное потребление тока от элемента $Б_1$ составляет 20—25 *ма*.

В случае отсутствия ферритового сердечника можно намотать трансформатор на сердечнике сечением 0,5—1 *см*² из электротехнической стали, в частности использовать сердечники от трансформаторов транзисторных радиоприемников. Пригодны сердечники и каркасы от трансформаторов приемника «Спидола». Данные обмоток трансформатора на стальном сердечнике такие же, как приведенные выше, однако вследствие увеличения потерь в стальном сердечнике коэффициент полезного действия преобразователя несколько уменьшится, а потребляемый от элемента $Б_1$ ток возрастет. Транзистор T_1 типа П201А можно заменить транзисторами типов П213—П217. С несколько худшими результатами могут быть использованы маломощные транзисторы типов МП42А—МП42Б с коэффициентами усиления В = 40 ÷ 60

Диод $Д_1$ типа Д226 можно заменить кремниевыми сплавными диодами других типов. Германиевые сплавные диоды имеют значительно меньшее обратное сопротивление и поэтому в данной схеме работают хуже кремниевых.

Форма напряжения на обмотке *III* трансформатора $Тр_1$ существенно отличается от синусоидальной Вследствие этого величина выходного напряжения преобразователя зависит от полярности включения обмотки *III* в схему однополупериодного выпрямления. Если напряжение на выходе преобразователя окажется заниженным, то в первую очередь следует поменять местами выводы этой обмотки. Выходное напряжение и коэффициент полезного действия преобразователя зависят от емкости конденсатора C_1. При использовании трансформатора $Тр_1$ со стальным сердечником рекомендуется подобрать емкость C_1, которая может изменяться в пределах 0,05—0,5 *мкф*. Частота колебаний блокинг-генератора преобразователя примерно 1 *кгц*. Поэтому удовлетворительная фильтрация пульсаций выходного напряжения получается даже при удалении из схемы деталей R_3 и C_3.

По мере разряда элемента $Б_1$ выходное напряжение преобразователя уменьшается. Однако его величина может быть восстановлена регулировкой режима блокинг-генератора с помощью переменного резистора R_2, что позволяет эксплуатировать преобразователь вплоть до глубокого разряда элемента.

Габариты преобразователя таковы, что он вместе с элементом типа 332 (ФБС-0,25) помещается в корпусе измерителя сопротивлений и конденсаторов.

Погрешности прибора. Оценка погрешностей описываемого прибора производилась путем измерения им образцовых сопротивлений и емкостей Периоды колебаний определялись с помощью секундомера. При измерении емкостей образцовых конденсаторов, имеющих допуск ±1%, относительная погрешность измерений колебалась от 0,9 до 3,8% в зависимости от предела измерений. При измерении сопротивлений образцовых непроволочных резисторов, имеющих допуск ±1%, относительная погрешность на различных пределах измерений изменялась от 1 до 4% Таким образом, указанная выше погрешность измерений не более 5% обеспечивается прибором с некоторым запасом.

Опытным путем установлено, что погрешность измерения сопротивления проволочных резисторов больше, чем непроволочных. По-видимому, это объясняется влиянием индуктивности и распределенной емкости намотки Впрочем, этот недостаток прибора несущественен, так как в радиолюбительской практике необходимость в измерении сопротивления высокоомных проволочных резисторов возникает весьма редко.

Как показали испытания, изменения температуры окружающей среды от 15 до 25° С и напряжения питания от 60 до 90 *в* не оказывают заметного влияния на точность измерений.

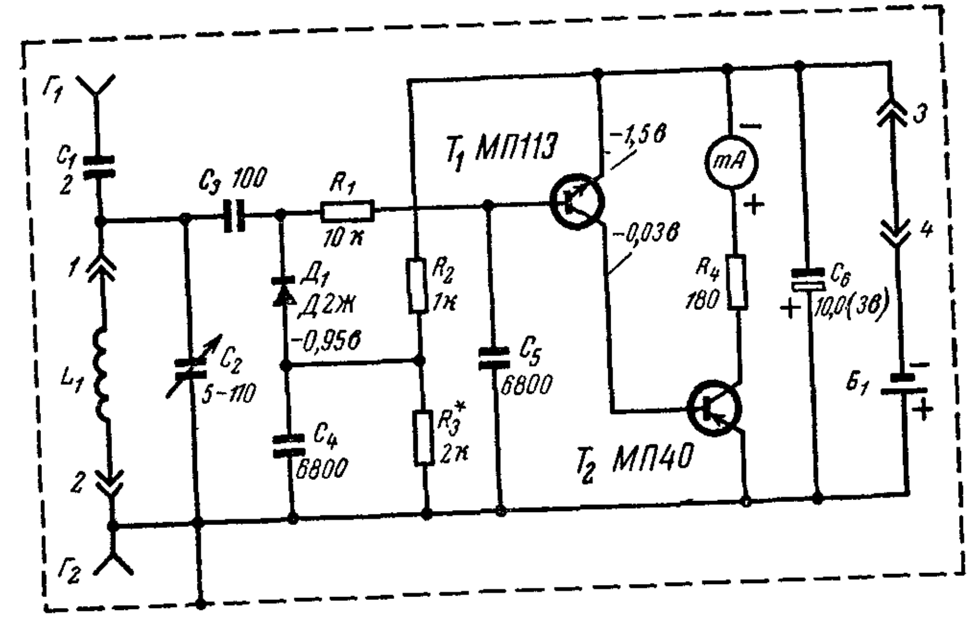


Рис. 53. Принципиальная схема УКВ волномера.

Эксплуатация. Во время измерений прибор должен располагаться так, чтобы на неоновую лампу не попадал яркий свет, особенно солнечный.

Подключив к зажимам R_x, C_x подлежащий измерению резистор или конденсатор, переключателем $П_{2а}$ — $П_{2б}$ выбирают соответствующий предел измерений. Устанавливают переключатель рода работы $П_{1а}$ — $П_{1б}$ в положение *3* и производят калибровку, для чего отсчитывают 10 вспышек неоновой лампы и определяют время $t_1 = 10T_1$. Затем, переведя переключатель $П_{1а}$ — $П_{1б}$ в положение *2* для измерения сопротивлений или в положение *4* для измерения емкостей, отсчитывают 10 вспышек лампы и определяют время $t_2 = 10T_2$. После этого искомая величина рассчитывается по формуле (41) или (42), в которых периоды T_1 и T_2 заменяются соответственно величинами t_1 и t_2.

Глава восьмая

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ НА УКВ

25. УКВ резонансный волномер

Резонансный волномер предназначен для измерения частоты немодулированных и модулированных колебаний. Перекрываемый волномером диапазон частот разбит на четыре поддиапазона: I — 3,5—8 Мгц, II — 8—21 Мгц, III — 21—57 Мгц, IV — 57—150 Мгц. Связь волномера с объектом измерения индуктивная или емкостная. Чувствительность волномера (минимальная мощность объекта измерения, необходимая для определения частоты колебаний) 1 мвт. Волномер питается от одного элемента типа 332 (ФБС-0,25). Потребляемый ток не более 1,5 ма. Габариты волномера 125×72×65 мм, вес 800 г.

Принципиальная схема. Диапазон волномера (3,5—150 *Мгц*) выбран таким образом, чтобы обеспечить измерение частоты гетеродинов приемников и выходных каскадов передатчиков, работаю-

щих в диапазоне УКВ, а также задающих генераторов и промежуточных каскадов передатчиков, которые настраиваются на более низкие частоты.

Принципиальная схема волномера приведена на рис. 53.

Колебательный контур волномера образован конденсатором переменной емкости C_2 и в зависимости от поддиапазона измеряемых частот одной из сменных катушек индуктивности L_1, подключаемых к волномеру с помощью разъема *1—4*. Имеющаяся в штыревой части разъема перемычка *3—4* включает питание волномера при установке сменной катушки в гнездовую часть разъема.

Энергия электромагнитных колебаний, частота которых подлежит измерению, подводится к контуру L_1C_2 посредством индуктивной связи его катушки с объектом измерения или от входных гнезд $Г_1Г_2$ через конденсатор связи C_1.

Выделенные контуром L_1C_2 колебания через конденсатор C_3 поступают на диодный детектор, собранный на диоде $Д_1$ по схеме с закрытым входом. Высокочастотная составляющая продетектированного напряжения задерживается Г-образным фильтром R_1C_5, а его постоянная составляющая приложена в положительной полярности к базе транзистора T_1.

Кремниевый *n-p-n* транзистор T_1 является усилителем постоянного тока, собранным по схеме с общим эмиттером. Коллектор транзистора T_1 непосредственно соединен с базой транзистора T_2, вследствие чего коллекторный ток T_1 одновременно является током базы T_2. Германиевый *p-n-p* транзистор T_2 также работает в схеме с общим эмиттером и осуществляет дальнейшее усиление постоянного тока. В цепь коллектора T_2 последовательно с ограничительным резистором R_4 включен миллиамперметр *mA*, являющийся индикатором резонанса.

Описываемая схема имеет некоторые особенности, связанные с отсутствием в ней органа установки индикатора на нуль. Для нормальной работы волномера необходимо, чтобы при отсутствии колебаний в его контуре стрелка индикатора находилась в нулевом положении, соответствующем весьма малой величине коллекторного тока транзистора T_1. Это возможно только в том случае, если при отсутствии колебаний в контуре база транзистора T_1 окажется соединенной с положительным полюсом источника питания через большое сопротивление (порядка нескольких мегаом). Роль этого сопротивления выполняет обратное сопротивление диода $Д_1$, который заперт приложенным к его аноду отрицательным напряжением, снимаемым с делителя R_2R_3. Величина запирающего напряжения выбрана такой, чтобы при отсутствии высокочастотного напряжения на диоде $Д_1$ между его анодом и катодом действовало обратное напряжение порядка нескольких сотых долей вольта. Указанной величины обратного напряжения достаточно для того, чтобы диод $Д_1$ и транзистор T_1 были заперты. При этом коллекторный ток транзистора T_1 не превышает нескольких микроампер, а коллекторный ток транзистора T_2 — нескольких десятков микроампер. Возникающее при протекании коллекторного тока транзистора T_2 через миллиамперметр *mA* начальное отклонение его стрелки невелико и может быть скомпенсировано механическим корректором нуля миллиамперметра.

При подведении к контуру L_1C_2 электромагнитной энергии от объекта измерения в нем возникают вынужденные колебания, напряжение которых приложено к диоду $Д_1$. Постоянная состав-

ляющая выпрямленного диодом тока протекает через него в прямом направлении, создавая падение напряжения на входном сопротивлении транзистора T_1. Усиленный транзисторами T_1 и T_2 ток отклоняет стрелку миллиамперметра. При настройке контура на частоту поступающих от объекта колебаний в нем возникает резонанс и напряжение на контуре резко увеличивается, что отмечается по максимальному отклонению стрелки миллиамперметра.

В случае чрезмерно сильной связи волномера с объектом измерения стрелка миллиамперметра выходит за пределы его шкалы. Однако это не угрожает опасной перегрузкой миллиамперметру, так как его ток ограничен сопротивлением резистора R_4 и сопротивлением рамки миллиамперметра. Сумма этих сопротивлений составляет около 500 *ом*. Поэтому наибольшая величина тока миллиамперметра не может превысить 3 *ма*, что при кратковременном воздействии безопасно как для миллиамперметра, так и для транзистора T_2.

Как известно, усилителям постоянного тока свойственно самопроизвольное изменение выходного тока с течением времени, а также при изменениях температуры (временной и температурный дрейф тока). В описываемом волномере дрейф тока не имеет существенного значения, так как включенный на выходе усилителя миллиамперметр предназначен не для измерения величины тока, а лишь для индикации его максимума при резонансе. Что же касается стабильности нулевых показаний миллиамперметра при отсутствии колебаний в контуре волномера, то она обеспечивается благодаря применению в первом каскаде усилителя постоянного тока кремниевого транзистора, параметры которого мало зависят от температуры.

Волномер питается от элемента $Б_1$, который присоединяется к схеме при включении сменной катушки с помощью перемычки *3—4*, что позволяет обойтись без выключателя питания и упрощает эксплуатацию волномера. Электролитический конденсатор C_6, блокирующий источник питания, увеличивает стабильность усилителя постоянного тока при частичном разряде элемента $Б_1$, а также пропускает низкочастотную составляющую тока коллектора транзистора T_2, возникающую при измерении волномером частоты модулированных колебаний.

Применение в волномере усилителя постоянного тока существенно улучшает его электрические параметры. Общий коэффициент усиления по току двухкаскадного усилителя превышает 100, благодаря чему чувствительность волномера весьма велика. Это делает возможным измерение частоты колебаний маломощных генераторов и гетеродинов приемников при очень слабой связи с ними. Применение усилителя улучшает также избирательные свойства волномера, поскольку связанный с его контуром детектор нагружен большим сопротивлением (более 10 *ком*) и, следовательно, лишь незначительно шунтирует контур. Этим обеспечивается достаточная крутизна резонансной кривой контура, что способствует острой настройке волномера и повышению точности измерения частоты.

В некоторых случаях, например, если основным назначением волномера является измерение частоты передатчика, чувствительность его может оказаться избыточной. В таких случаях целесообразно понизить чувствительность за счет ослабления связи контура с детектором путем уменьшения емкости конденсатора C_3 до десятков или даже единиц пикофарад. При этом шунтирование контура детектором будет минимальным, что может значительно увеличить остроту настройки волномера, в особенности на поддиапазонах III и IV, на которых добротность контура меньше, чем на остальных поддиапазонах.

Детали. В волномере используется конденсатор переменной емкости C_2 с воздушным диэлектриком, состоящий из 14 неподвижных и такого же числа подвижных пластин в форме полукруга радиусом 11 *мм*. Емкость такого конденсатора изменяется в пределах 5—110 *пф*. В качестве C_2 можно использовать конденсаторы переменной емкости с воздушным диэлектриком от малогабаритных радиоприемников, например «Спидола», «Альпинист» и др., удалив из них часть пластин для уменьшения максимальной емкости до требуемого значения. Если желательно избежать этой операции, то последовательно с устанавливаемым конденсатором переменной емкости следует включить такой конденсатор постоянной емкости (слюдяной или керамический), чтобы максимальная емкость образовавшейся цепи равнялась 110 *пф*. Так, например, в случае применения в волномере конденсатора переменной емкости от приемника «Альпинист», каждая секция которого имеет емкость 9—280 *пф*, последовательно с используемой секцией необходимо включить конденсатор емкостью 180 *пф*. Заметим, что конденсаторы переменной емкости с твердым диэлектриком непригодны для использования в волномере, так как их емкость недостаточно стабильна, а электрические потери на частотах УКВ диапазона недопустимо велики.

Данные сменных катушек волномера приведены в табл. 5. Для удобства замены катушек они помещены внутри пластмассовых восьмиштырьковых цоколей от негодных радиоламп. Следует иметь в виду, что некоторые радиолампы старых выпусков снабжены цоколями, состоящими из металлического цилиндра и пластмассового дна со штырьками. Применение таких цоколей недопустимо, так как образованный металлическим цилиндром короткозамкнутый виток изменил бы индуктивность расположенной внутри него катушки и резко уменьшил ее добротность. Поэтому следует использовать только цельнопластмассовые цоколи. В каждом цоколе, кроме катушки, устанавливается также проволочная перемычка для включения питания волномера, обозначенная на схеме рис. 53, как соединение между штырьками *3* и *4* разъема *1—4*. Эта перемычка должна соединять два ближайших штырька цоколя кратчайшим путем, чтобы не создавать индуктивно связанной с катушкой петли, наличие которой привело бы к снижению добротности контура.

Катушки не имеют подстроечных сердечников, а их подстройка при налаживании волномера производится посредством перемещения крайних витков катушки. Применение ферритовых или карбонильных сердечников нежелательно, так как лишь некоторые сорта этих материалов способны эффективно работать на частотах УКВ диапазона и подбор таких сердечников мог бы оказаться затруднительным для радиолюбителя.

Гнездовой частью разъема *1—4* является восьмиштырьковая керамическая ламповая панелька типа ПЛК-8, в которую вставляются цоколи с катушками.

В качестве индикатора резонанса в волномере применен миллиамперметр типа М20, имеющий ток полного отклонения 1 *ма* и сопротивление рамки 350 *ом*. Возможно использование других приборов, обладающих как большей, так и меньшей чувствительностью. Удовлетворительные результаты могут быть получены даже при использовании миллиамперметра с током полного отклонения 5 *ма*.

Таблица 5

Данные катушек УКВ волномера

Поддиапазон	Частота, *Мгц*	Диаметр, *мм*	Провод	Число витков	Индуктивность, *мкгн*	Примечание
I	3,5—8	23	ПЭВ 0,5	33	20	Однослойная
II	8—21	23	ПЭВ 0,8	12	3,5	Однослойная
III	21—57	11	ПЭВ 0,8	8	0,6	Однослойная
IV	57—150	11	ПЭВ 1,0	2	0,06	Бескаркасная, с шагом 3 *мм*

Транзистор T_1 типа МП113 может быть заменен кремниевыми сплавными *n-p-n* транзисторами других типов, например МП111, МП112 с коэффициентом усиления $B = 10 \div 20$. При отсутствии кремниевого транзистора можно использовать германиевый сплавной *n-p-n* транзистор, например типа МП35—МП38, отобрав его по минимальному обратному току коллектора. Транзистор T_2 типа МП40 можно заменить германиевым сплавным *p-n-p*-транзистором любого типа с коэффициентом усиления $B = 15 \div 25$ и малым обратным током коллектора При изготовлении волномера не следует стремиться к применению в нем транзисторов с коэффициентами усиления, превышающими указанные. Установка в усилителе постоянного тока транзисторов с бо́льшими коэффициентами не приведет к пропорциональному возрастанию чувствительности волномера, так как это возможно только при оптимальном согласовании транзисторов с их нагрузками. Что же касается температурной нестабильности усилителя, то она, как правило, выше при использовании транзисторов с большими коэффициентами усиления и применять их нецелесообразно.

Детекторный диод $Д_1$ типа Д2Ж можно заменить диодами типов Д2Б—Д2И или типов Д10—Д14 Рекомендуется отбирать диод по минимальному обратному току.

В волномере применяются резисторы типов УЛМ и МЛТ-0,25, причем резистор R_3 подбирается при налаживании из двух резисторов, соединяемых последовательно. Конденсаторы C_1 и C_3 типа КДК или КТК, C_4 и C_5 типа КЛС или КДС, C_6 типа ЭМ или ЭМИ.

Гнезда $Г_1Г_2$ обычной конструкции и предназначены для включения в них однополюсных вилок. Если предполагается использовать волномер для измерения частоты колебаний в различных каскадах передатчиков, то в качестве гнезд $Г_1Г_2$ лучше использовать одно коаксиальное гнездо (например, от антенного входа телевизора) и осуществлять связь с исследуемым каскадом при помощи отрезка коаксиального кабеля. Благодаря этому уменьшатся наводки на контур волномера от последующих, более мощных каскадов, которые могли бы привести к получению ошибочных результатов измерения в случае связи волномера с передатчиком обычными проводниками.

Конструкция и монтаж. Волномер смонтирован в латунном корпусе размерами 125×72×42 *мм* со съемной верхней крышкой, которая является верхней панелью прибора На верхней панели (рис. 54) расположены миллиамперметр *mA* и ручка настройки конденсатора C_2 со шкалой, разделенной на 100 делений.

Ко внутренней поверхности верхней крышки корпуса волномера прикреплен конденсатор переменной емкости C_2 и в непосредственной близости от него уголковый кронштейн с установленными на нем гнездами $Г_1Г_2$ и восьмиштырьковой панелькой ПЛК-8, которая служит гнездовой частью разъема *1—4* (рис. 55) При таком расположении сменная катушка L_1 соединяется с конденсатором C_2 кратчайшими проводниками, что улучшает работу волномера на IV, наиболее высокочастотном поддиапазоне.

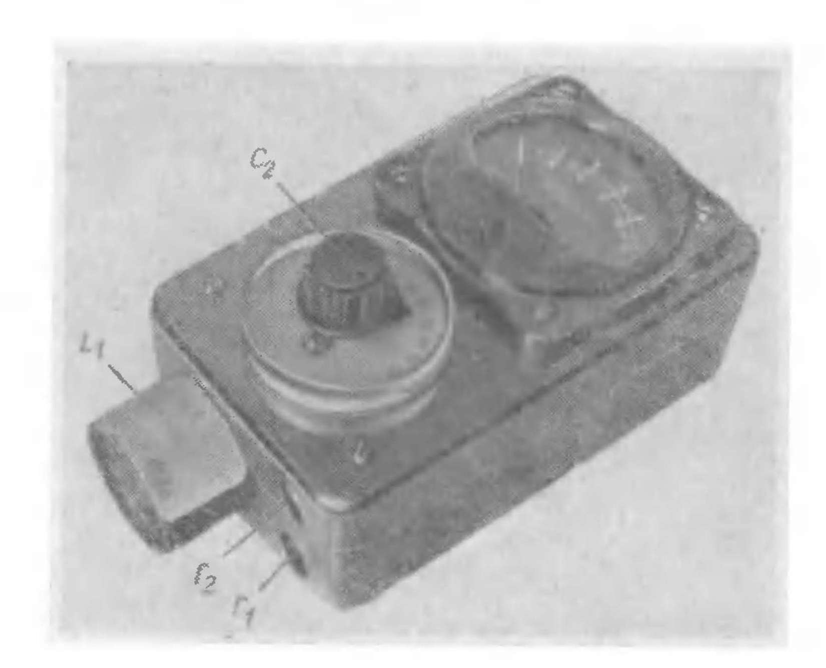


Рис. 54. Внешний вид УКВ волномера.

Мелкие детали схемы размещены на гетинаксовой монтажной плате с максимальными размерами 80×60×2 *мм*, крепящейся к миллиамперметру гайками, навинченными на его нарезные выводы. Плата имеет фигурный вырез для конденсатора переменной емкости и круглое отверстие диаметром 22 *мм*, в которое вставляется элемент $Б_1$. При этом положительный вывод элемента соприкасается со внутренней поверхностью крышки корпуса, а дно цинкового стакана, являющегося отрицательным электродом элемента, прижимается установленной на плате плоской пружиной, которая электрически соединена с лепестком панели ПЛК-8, соответствующим гнездовой части разъема *4*

Наряду с описанным, возможны и другие варианты конструктивного оформления волномера, которые могут быть продиктованы размерами имеющихся деталей, размерами корпуса и другими обстоятельствами. Независимо от применяемой конструкции, можно обеспечить требуемые электрические параметры волномера при выполнении следующих условий: 1) корпус должен быть металлическим, 2) конденсатор переменной емкости и разъем для включения катушек необходимо прочно прикрепить к корпусу на минималь-

ном расстоянии друг от друга, 3) монтаж должен быть жестким и содержать по возможности малое количество соединительных проводников.

Налаживание и градуировка. После проверки правильности монтажа включают в разъем катушку поддиапазона I и устанавливают электрический режим детектора $Д_1$ и входной цепи транзистора T_1. Для этого уменьшают сопротивление резистора R_3 (удобно временное использование переменного резистора) вплоть до отпирания диода $Д_1$, которое проявляется резким увеличением тока коллектора транзистора T_1, что в свою очередь приводит к возрастанию тока коллектора транзистора T_2 и уходу стрелки миллиамперметра *mA* за пределы его шкалы. Измерив омметром сопротивление резистора R_3, при котором наступает указанное явление, увеличивают его на 5—10% и впаивают в схему соответствующий постоянный резистор. Поскольку подбор нужного номинала резистора R_3 может оказаться затруднительным, лучше соединить последовательно два резистора, например сопротивлением 1,8 *ком* и 100—510 *ом* и подбирать второй резистор. После установки в схему подобранного резистора R_3 диод $Д_1$ запирается и коллекторные токи транзисторов T_1 и T_2 не превышают соответственно 2—3 *мка* и 30—50 *мка*. Показания миллиамперметра уменьшаются и составляют примерно 1/20 длины его шкалы. При этом имеется возможность установить стрелку на нуль с помощью механического корректора миллиамперметра и при повторных включениях волномера стрелка также будет устанавливаться на нуль.

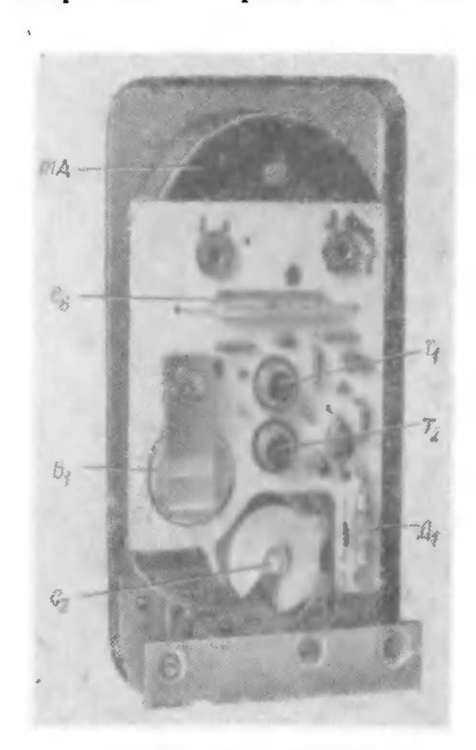


Рис. 55. Монтаж УКВ волномера.

Если начальный ток коллектора транзистора T_2 окажется больше 50 *мка*, следует заменить этот транзистор, подобрав для замены экземпляр с меньшим начальным током. В некоторых случаях причиной возрастания начальных токов транзистора T_1 и непосредственно соединенного с ним транзистора T_2 может явиться уменьшение обратного сопротивления диода $Д_1$ вследствие его перегрева при пайке. Эта неисправность более вероятна при использовании германиевого диода.

После окончания регулировки детектора и усилителя постоянного тока можно приступить к установке границ поддиапазонов и градуировке шкалы волномера. Для этого потребуется генератор сигналов, перекрывающий частотный диапазон волномера. При отсутствии генератора можно использовать в качестве источника колебаний известной частоты гетеродин радиоприемника, работающего на коротковолновом диапазоне. Как правило, частота гетеродина больше частоты настройки приемника на величину его промежуточной частоты. Поэтому можно определить частоту гетеродина приемника, прибавляя его промежуточную частоту (для ДВ, СВ и КВ диапазонов вещательных приемников она равна 465 ± 2 *кгц*) к ча-

стоте, отсчитанной по шкале настройки приемника. Например, при изменении частоты настройки приемника от 3,95 до 12,1 *Мгц* (границы КВ диапазона) частота его гетеродина изменяется от 4,415 до 12,565 *Мгц*, что позволяет произвести градуировку волномера на участках поддиапазонов I и II. При наличии приемника с бо́льшим перекрытием КВ диапазона пределы градуировки соответственно расширяются.

Связь волномера с гетеродином приемника осуществляется путем приближения катушки волномера к гетеродинному контуру. Если это затруднительно, то следует включить в гнезда $Г_1$ и $Г_2$ короткие проводники, первый из которых соединяется через конденсатор емкостью 2—5 *пф* с контуром гетеродина приемника, а второй — с шасси приемника. Устанавливая различные частоты гетеродина приемника и настраивая контур волномера по максимуму показаний его миллиамперметра, можно проградуировать шкалу волномера.

Градуировка волномера по приемнику несложна, однако ее частотный диапазон ограничен. Поэтому лучше использовать для градуировки генераторы сигналов Г4-1А (ГСС-6А), Г3-8 (ГВМ), Г4-7А (ГСС-7А) и др.

Процесс установки границ поддиапазонов заключается в следующем. Подав на гнезда $Г_1Г_2$ сигнал с частотой 3,4 *Мгц*, устанавливают максимальную емкость конденсатора C_2 и перемещением крайних витков катушки поддиапазона I добиваются наибольшего отклонения стрелки миллиамперметра. Если по мере приближения к резонансу стрелка будет выходить за пределы шкалы миллиамперметра, следует уменьшить подводимый к волномеру сигнал так, чтобы наибольшее отклонение соответствовало $^1/_2$—$^2/_3$ длины шкалы миллиамперметра. После этого устанавливают минимальную емкость конденсатора C_2 и, изменяя частоту сигнала, определяют максимальную частоту поддиапазона I.

Включив в разъем катушку поддиапазона II, устанавливают (при максимальной емкости конденсатора C_2) минимальную частоту этого поддиапазона равной примерно 95% от максимальной частоты поддиапазона I. Затем переводят конденсатор C_2 в положение, соответствующее минимальной емкости, и, изменяя частоту сигнала, определяют максимальную частоту поддиапазона II.

Установка границ остальных поддиапазонов производится аналогично. Следует иметь в виду, что при использовании конденсатора переменной емкости, данные которого отличаются от приведенных выше, границы поддиапазонов могут несколько сместиться по сравнению с указанными в описании. Изменение границ поддиапазонов не имеет принципиального значения, важно лишь, чтобы смежные поддиапазоны имели взаимоперекрытие порядка 5% от граничной частоты.

После установки границ поддиапазонов производят градуировку волномера. Включив в разъем катушку поддиапазона I и установив максимальную емкость конденсатора C_2 (нулевое деление шкалы волномера), перестраивают источник сигнала до наступления резонанса, регистрируемого миллиамперметром, и отмечают резонансную частоту. Далее определяют резонансные частоты в 10—20 точках шкалы и по полученным данным строят градуировочный график волномера для поддиапазона I, придерживаясь рекомендаций, изложенных в § 15. Аналогично получают градуировочные графики и для остальных поддиапазонов.

Следует иметь в виду, что вид градуировочиого графика (ход кривой) зависит от формы пластин кондеисатора перемениой емкости C_2. Наиболее распространенные конденсаторы малой емкости с воздушным диэлектриком имеют подвижные пластииы полукруглой формы, и их емкость изменяется прямо пропорционально углу поворота пластин. При этом резонансная частота контура волномера оказывается непропорциональной углу поворота. Образец градуировочного графика для одного из поддиапазонов волномера, получающегося в случае применения в нем кондеисатора переменной емкости с полукруглыми пластинами, приведен на рис. 56. Как видно из графика, изменение частоты происходит более резко в области высших частот поддиапазона, так как при этом относительное изменеиие емкости иа единицу угла поворота подвижных пластин больше, чем в низкочастотиой части поддиапазона. Более равномериое изменение частоты при повороте пластин достигается при использоваиии в волномере конденсаторов с подвижными пластинами специальной формы (прямочастотных конденсаторов). Характеристики большинства кондеисаторов переменной емкости с воздушным диэлектриком, используемых в радиоприеминках, близки к прямочастотиым. В случае использования в волномере такого коиденсатора возможио получеиие практически прямолинейных графиков иа всех поддиапазонах волномера.

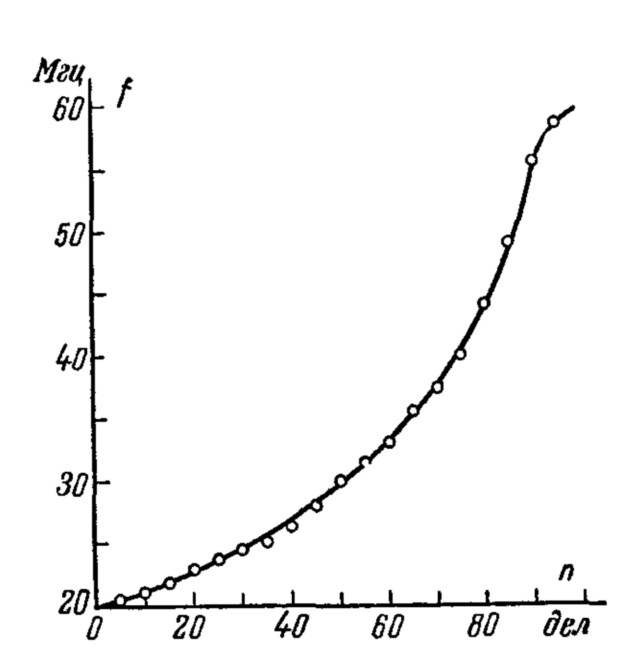


Рис. 56. Градуировочный график УКВ волномера.

Эксплуатация. Благодаря применеиию в волномере двухкаскадного усилителя постояниого тока он обладает высокой чувствительностью. Это позволяет измерять частоту маломощиых генераторов и гетеродииов приемииков при очень слабой связи волиомера с их контурами. При этом волиомер практически не виосит расстройки в контуры исследуемых генераторов, что повышает точность измерения частоты. Кроме того, высокая чувствительность волномера обеспечивает значительные эксплуатациоииые удобства, которые в ряде случаев имеют решающее значеине. Например, для измерения частоты гетеродииа телевизора достаточно приблизить катушку волномера к баллону преобразовательиой лампы, с которой иа время нзмерения снимается наружный экраи. В даиином случае энергии высокочастотного поля, окружающего электроды лампы, оказывается достаточно для возбуждения в коитуре волномера выиужденииых колебаний, которые после их детектирования и усилеиия регистрнруются миллиамперметром. Как показывает опыт, прн настройке коитура волномера на частоту гетеродииа телевизора стрелка миллиамперметра отклоняется на половину длины шкалы н более. Если бы применялся обычный резонансный волиомер без усилителя, то измерить частоту гетеродииа в лучшем случае удалось бы только после вскрытия корпуса переключателя телевизиоиных каналов для доступа к гетеродинному контуру, что неизбежно сопровождалось бы значнтельной расстройкой гетеродина.

Измерение частоты гетеродинов генераторов, передатчиков и других источников высокочастотных колебаний может производиться как при индуктивной, так и при емкостной связи их с волномером. Индуктивная связь удобнее емкостной тем, что степень связи легко регулируется посредством перемещения волномера относительно катушки контура, частота колебаний которого подлежит измерению. Недостатком индуктивной связи является невозможность связать волиомер с экранированными катушками. В этом случае, а также при невозможности приблизить волномер к катушке контура из-за тесного расположеиия деталей исследуемого устройства или по другим причинам приходится применять емкостную связь. Во многих случаях для измерений бывает достаточно приблизить конец включенного в гнездо $Г_1$ волиомера проводника к цепям, в которых действует напряжение измеряемой частоты. Если же измеряется частота колебаний маломощного источника, то он соединяется с гнездом $Г_1$ волномера через конденсатор емкостью 5—10 *пф*. Гнездо $Г_2$ соединяется с шасси (илн с иулевым проводом) источника.

При любом способе связи величина ее должна быть отрегулирована таким образом, чтобы после настройки волномера в резонанс стрелка его миллиамперметра отклонялась не более чем иа $^2/_3$ длины шкалы. Вначале устанавливается достаточно сильная связь, чтобы получить некоторое отклонение стрелки, а затем по мере настройки волномера связь ослабляется до требуемой величины. Как указывалось выше, перегрузки не представляют опасиости для транзисторов и миллиамперметра волномера. Однако чрезмерно большое иапряжение на коитуре волномера (десятки вольт), могущее возникнуть при сильной связи с мощным источником колебаний, опасно для диода $Д_1$. Поэтому приближать волиомер к мощному источнику, регулировать величину индуктивной или емкостной связи между ними и настраивать контур волномера следует постепенио, чтобы не повредить диод $Д_1$.

Измерение частоты маломощных источников, например транзисторных генераторов, отличается некоторыми особеиностями. При сильной связи контура генератора с волномером последний оказывает заметное влияние на генератор. Настройка волиомера на частоту геиератора сопровождается поглощением контуром волномера иекоторой доли мощности генератора, что может привести к изменению его частоты, нарушению режима или даже к срыву колебаний генератора. Кроме того, необходимо учитывать, что при слишком сильной связи с генератором настройка волномера в резонанс становится нечеткой, так как перестройка контура волномера вызывает одновременное изменение параметров связаиного с ним контура генератора, а следовательно, и его частоты. Поэтому при измерении частоты колебаний маломощных генераторов, в том числе гетеродинов транзисторных приемников, рекомендуется слабо связывать волномер с генератором.

Для измерения чувствительиости описываемого волномера применялся транзисторный генератор УКВ диапазона с подводимой мощностью 1 *мвт*. После точной настройки иидуктивно связанного с генератором волномера стрелка его миллиамперметра отклонялась на $^1/_4$—$^1/_3$ длины шкалы. Таким образом, высокая чувствительность

волномера позволяет измерять им частоту колебаний, генерируемых источниками весьма малой мощности. Чувствительность может быть значительно увеличена при уменьшении сопротивления резистора R_1 и исключении из схемы резистора R_4, что целесообразно в случае использования в волномере миллиамперметра с током полного отклонения свыше 1 *ма*.

Как показала практика, резонансный волномер оказывается полезным прибором для ориентировочной настройки контуров гетеродина КВ и УКВ приемников, особенно если радиолюбитель не располагает генератором сигналов соответствующего диапазона. В частности, с помощью волномера удобно настраивать гетеродинные контуры приемника с растянутыми КВ поддиапазонами (например, «Спидола», «ВЭФ-Спидола-10» и др.). Для измерения частоты гетеродина приемника достаточно приблизить катушку волномера к катушке гетеродинного контура на расстояние 2—3 *см*, после чего волномер настраивается на частоту гетеродина, и ее значение определяется по градуировочному графику.

Кроме основного назначения, волномер может быть использован в качестве индикатора резонанса. Например, для подстройки контуров передатчика волномер слабо связывается с его выходом и настраивается на частоту излучения. Затем контуры промежуточных и выходного каскадов передатчика подстраиваются по максимуму показаний миллиамперметра волномера. Аналогично производится настройка резонансных усилителей высокой частоты. На вход усилителя подается высокочастотное напряжение от генератора сигналов, а его выход связывается с волномером, настроенным на частоту усиливаемого сигнала. Контуры усилителя настраиваются до получения максимальных показаний миллиамперметра волномера.

Благодаря малости потребляемого волномером тока элемент типа 332 (ФБС-0,25) обеспечивает его питание в течение длительного времени. Величина напряжения питания волномера практически не оказывает влияния на точность измерения частоты. Поэтому допустима эксплуатация волномера вплоть до глубокого разряда элемента.

26. УКВ генератор сигналов

Генератор сигналов предназначен для проверки и настройки КВ и УКВ аппаратуры. Генератор вырабатывает немодулированные и амплитудно-модулированные колебания высокой частоты. Диапазон частот генератора перекрывается пятью поддиапазонами: I — 5—8 Мгц, II — 8—13 Мгц, III — 13—22 Мгц, IV — 22—40 Мгц, V — 40—75 Мгц. Частота модуляции высокочастотных колебаний 1 000 гц. Напряжение высокой частоты на выходе генератора 10 мв и 1 мв, выходное сопротивление 75 ом. С помощью (выносного) делителя возможно уменьшение выходного напряжения до 100 мкв, 10 мкв и 1 мкв. Генератор питается от одного элемента типа 332 (ФБС-0,25). Потребляемый ток не более 1,5 ма. Габариты генератора 125×72×65 мм, вес 400 г.

Особенности УКВ генератора. Электрические свойства электронных приборов, колебательных контуров и других элементов радиоаппаратуры с повышением частоты существенно изменяются. Это приводит к значительным схемным и конструктивным отличиям УКВ генераторов сигналов от аналогичных приборов, работающих на более низких частотах.

Диапазон генератора сигналов перекрывает частоты от 5 до 75 *Мгц*. Выбор нижней границы частотного диапазона обусловлен тем, что в УКВ супергетеродинных приемниках обычно применяются промежуточные частоты 6,5 или 8,4 *Мгц*. Верхнюю границу диапазона целесообразно было бы установить равной 150 *Мгц*, что позволило бы регулировать и проверять с помощью генератора сигналов любительскую аппаратуру 2-метрового диапазона (144—146 *Мгц*). Устойчивую генерацию на этих частотах обеспечивают транзисторы типов ГТ313А—ГТ313Б, а также П410—П411. К сожалению, эти типы транзисторов малодоступны для широкого круга радиолюбителей, и поэтому описываемый генератор сигналов построен на распространенном диффузионном транзисторе типа П403А, предельная частота генерации которого в схеме с общей базой равна 120 *Мгц*.

Следует отметить, что отдельные экземпляры транзисторов П403А, а также П403, П416, П416А, П416Б и П423 при коллекторном напряжении порядка 10 *в* способны генерировать на частоте 150 *Мгц*, однако это возможно только при весьма малой емкости колебательного контура, в частности, в схемах с двухпроводными линиями. В данном же случае для плавной перестройки частоты генератора в широких пределах применяется конденсатор переменной емкости, вследствие чего начальная емкость контура равна 10—15 *пф* При этих условиях получение устойчивой генерации на частоте 150 *Мгц* невозможно.

Поэтому пришлось ограничить диапазон генератора максимальной частотой 75 *Мгц*, с тем чтобы для настройки любительских приемников 2-метрового диапазона можно было использовать вторую гармонику выходного напряжения генератора. На частотах, не превышающих 75 *Мгц*, в схеме генератора с общей базой устойчиво работают практически любые экземпляры транзисторов П403, П403А, П416, П416А, П416Б, и предварительного отбора их не требуется.

Для повышения стабильности частоты колебаний в описываемом генераторе не применяется переключатель поддиапазонов, а их коммутация осуществляется путем смены контурных катушек. Вообще следует иметь в виду, что для переключения УКВ поддиапазонов обычные галетные переключатели малопригодны из-за недостаточно высоких электрических параметров самого переключателя и в связи с необходимостью подводить к нему проводники от контурных катушек. Более пригодны барабанные переключатели с установленными внутри них катушками, однако изготовление таких переключателей в любительских условиях затруднительно.

Применяемые радиолюбителями приемники 2- и 10-метрового диапазонов имеют высокую чувствительность, порядка десятков и даже единиц микровольт. В связи с этим к генераторам, используемым для настройки таких приемников, предъявляются жесткие требования в отношении минимальной величины выходного сигнала. Добиться настройки налаживаемого приемника на максимальную чувствительность можно при выходном напряжении генератора сигналов порядка 1 *мкв*. Если же сигнал на входе приемника будет больше этого уровня, то приемник окажется перегруженным и произвести точную настройку и сопряжение его контуров не удастся. Кроме того, настройка первого каскада усилителя высокой частоты высокочувствительного приемника должна производиться не на максимум усиления, а по максимальному отношению напряжения

сигнала к напряжению шумов, что также возможно лишь при очень малом напряжении подводимого ко входу приемника сигнала

Таким образом, при конструировании и изготовлении генератора сигналов необходимо принимать меры для обеспечения возможности получения на входе проверяемого или настраиваемого приемника, конвертера, антенного усилителя и других устройств минимального напряжения сигнала, поступающего от генератора. Осуществить это требование можно только в том случае, если будет исключено проникновение к настраиваемому объекту высокочастотного сигнала, не подвергшегося необходимому ослаблению в аттенюаторе. Сигнал должен поступать на вход объекта только через аттенюатор, а не иными путями. Решение этой задачи сопряжено с большими конструктивными трудностями

В генераторах сигналов промышленного изготовления применяется весьма тщательное экранирование прибора в целом и отдельных его узлов, особенно колебательных контуров и аттенюатора. Напряжение на аттенюатор поступает по коаксиальному кабелю. В провода питания включаются заградительные фильтры, ослабляющие излучение сигнала через сетевые вводы генератора и последующее проникновение его к объекту из электрической сети. Однако расчеты и практическое изготовление таких фильтров, эффективно подавляющих высокочастотные сигналы в широком диапазоне частот, достаточно сложны Поэтому изготовление УКВ генератора сигналов с питанием от сети, имеющего малый уровень паразитного излучения, возможно лишь при наличии соответствующего оборудования и контрольно-измерительных приборов. Что же касается любительских генераторов сигналов с питанием от электрической сети, то их паразитное излучение обычно оказывается весьма значительным, что не позволяет использовать их для настройки высокочувствительной радиоприемной аппаратуры.

Гораздо более благоприятные условия для подавления паразитных излучений имеют место при изготовлении транзисторного генератора сигналов с питанием от батареи. В этом случае генератор вместе с батареей заключается в металлический корпус, служащий экраном для электромагнитного излучения, что надежно предотвращает проникновение высокочастотного сигнала к объекту помимо выходных гнезд генератора При изготовлении корпуса из хорошо проводящего металла (меди, латуни) с плотно прилегающей к нему крышкой практически все излучение экранируется корпусом и к объекту поступает только сигнал, предварительно ослабленный аттенюатором.

Для надлежащего ослабления сигнала на выходе генератора следует, во-первых, надежно экранировать аттенюатор от собственно генераторной части прибора, во-вторых, применять аттенюатор с достаточно большим коэффициентом деления напряжения, в-третьих, подводить к аттенюатору по возможности малый сигнал, что позволит ограничиться меньшим числом звеньев аттенюатора и упростить межзвенную экранировку.

Заметим, что последнее требование значительно легче выполнить для транзисторного генератора, чем для лампового. Действительно, в ламповом генераторе высокочастотное напряжение на контуре составляет единицы или десятки вольт, что резко повышает требования к экранированию контура и аттенюатора. В транзисторном же генераторе напряжение на колебательном контуре измеряется (при соответствующем выборе режима) десятыми долями

вольта, благодаря чему достаточно ограничиться экранировкой только аттенюатора. При этом выходное напряжение транзисторного генератора может быть уменьшено до 1 *мв* даже в малогабаритной конструкции.

Дальнейшее ослабление сигнала, необходимое для настройки высокочувствительной приемной аппаратуры, целесообразно осуществлять с помощью выносного делителя напряжения. Делитель соединяется с выходом основного (внутреннего) аттенюатора коаксиальным кабелем, волновое сопротивление которого должно быть согласовано с выходным сопротивлением аттенюатора.

Наряду с рассмотренными преимуществами транзисторных генераторов сигналов по сравнению с ламповыми, следует отметить и их важнейшие недостатки: меньшую стабильность частоты, особенно при изменениях температуры, и бо́льшую подверженность паразитной частотной модуляции Однако температурная нестабильность частоты и частотная модуляция сигнала могут быть уменьшены до приемлемой величины правильным выбором схемы генератора и ее электрического режима.

Температурная нестабильность частоты транзисторного генератора обусловлена главным образом изменением параметров транзистора при изменении температуры окружающей среды и уменьшается при ослаблении связи транзистора с колебательным контуром Для компенсации ухода частоты целесообразно включение в контур конденсаторов с отрицательным температурным коэффициентом емкости.

При воздействии модулирующего напряжения на электроды транзистора происходит периодическое изменение емкостей его *p-n*-переходов, главным образом коллекторного, что сопровождается возникновением частотной модуляции генерируемого напряжения Уменьшить ее можно применением транзистора с малой емкостью коллекторного перехода (что характерно для диффузионных транзисторов) и выбором такого режима транзистора, при котором ослабляется влияние модулирующего напряжения на емкость коллекторного перехода.

Некоторое уменьшение влияния частотной модуляции достигается в случае модуляции высокочастотного напряжения несинусоидальным (прямоугольным) напряжением низкой частоты. При таком способе модуляции сигнал содержит как бы две несущих, каждая из которых модулирована по амплитуде. Однако использование одной из несущих возможно только при узкой полосе пропускания настраиваемого объекта. Если же настраивается широкополосное устройство, то обе несущие будут влиять на него одновременно и действие частотной модуляции не ослабится.

Наиболее радикальным средством уменьшения частотной модуляции является введение в схему буферного каскада, слабо связанного с задающим генератором, и осуществление модуляции в буферном каскаде. В этом случае частотная модуляция весьма незначительна и происходит лишь за счет обратного воздействия на задающий генератор со стороны буферного каскада. При выполнении последнего по схеме с общим коллектором обратным воздействием практически можно пренебречь (см § 21).

В описываемом генераторе сигналов для упрощения схемы буферный каскад не применяется, но с целью уменьшения влияния частотной модуляции при настройке узкополосной аппаратуры используется несинусоидальное модулирующее напряжение.

Принципиальная схема. Генератор УКВ сигналов (рис. 57) состоит из генератора несинусоидального модулирующего напряжения на транзисторах T_1 и T_2 и генератора высокочастотных колебаний на транзисторе T_3.

Генератор модулирующего напряжения представляет собой несимметричный мультивибратор с эмиттерной связью, подробно описанный в § 22. Включение мультивибратора производится выключателем $Вк_1$, с помощью которого одновременно замыкаются эмиттерные цепи транзисторов T_1 и T_2 и осуществляется их соединение с цепью базы транзистора T_3 через разделительный конденсатор C_5. Напряжение на базе транзистора T_3 имеет форму, близкую к прямоугольной.

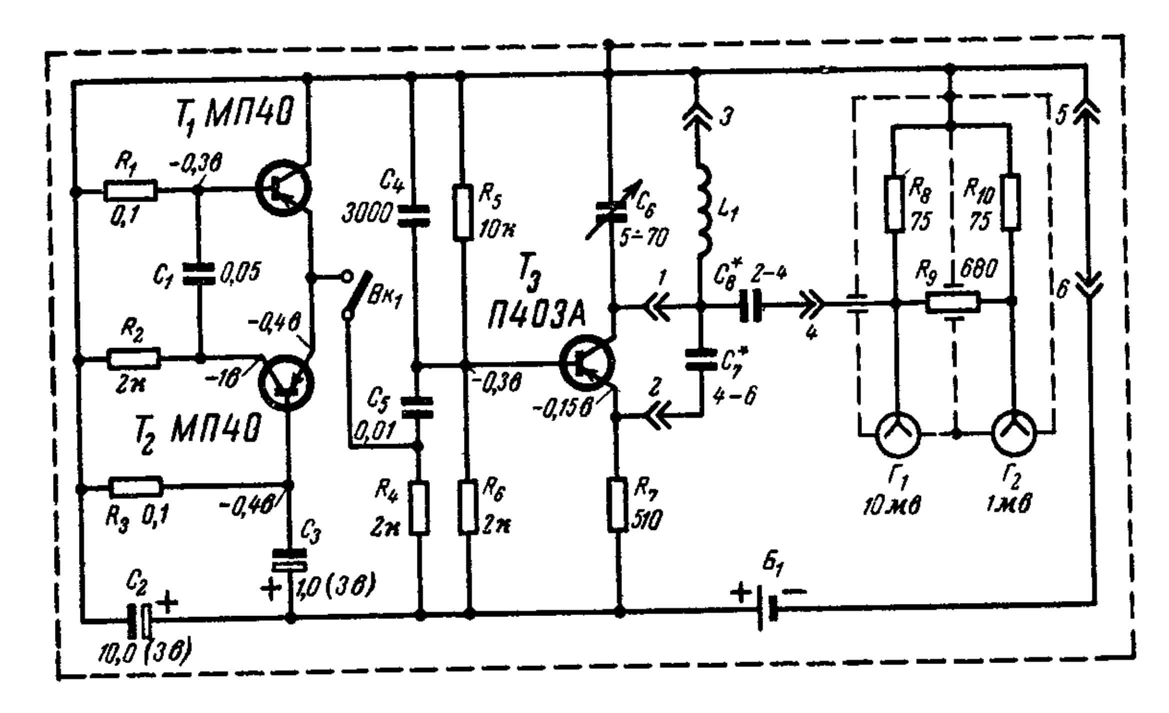


Рис. 57. Принципиальная схема УКВ генератора сигналов.

Выбор в качестве модулирующего напряжения прямоугольной формы обусловлен некоторым уменьшением эффекта частотной модуляции, а также возможностью использования модулированного таким напряжением сигнала для налаживания телевизора. В данном случае генератор сигналов позволяет ориентировочно оценить работу видеоканала телевизора и его развертывающих устройств посредством наблюдения черно-белых полос, возникающих на экране кинескопа.

Генератор высокой частоты собран на транзисторе T_3 по схеме с общей базой, что необходимо для обеспечения устойчивой генерации на высших частотах диапазона. Режим транзистора T_3 по постоянному току задается делителем напряжения R_5R_6 в цепи его базы, а по высокой частоте она соединена с минусом источника питания через блокировочный конденсатор C_4, представляющий малое сопротивление для токов высокой частоты и большое — для токов с частотой модуляции.

Колебательный контур генератора, образованный конденсатором переменной емкости C_6 и сменной катушкой L_1, включен в цепь коллектора транзистора T_3. Напряжение положительной обратной

связи поступает с коллектора на эмиттер T_3 через сменный конденсатор C_7, подбор емкости которого позволяет установить необходимую для самовозбуждения генератора глубину обратной связи. Высокочастотное напряжение снимается с колебательного контура генератора через сменный конденсатор C_8 и поступает на аттенюатор R_8 — R_{10}. При соответствующем выборе емкости конденсатора C_8 на выходном гнезде $Г_1$ действует высокочастотное напряжение 10 *мв*, а на гнезде $Г_2$ — 1 *мв*.

Таким образом, на каждом из пяти поддиапазонов генератора сигналов используются своя контурные катушки L_1, конструктивно объединенные вместе с конденсаторами C_7 и C_8 в сменный узел, который присоединяется к схеме с помощью контактного разъема *1—6*. В штыревой части разъема имеется перемычка *5—6*, служащая для присоединения к схеме источника питания $Б_1$ при включении сменных катушек.

В описываемом генераторе с экранирующим корпусом соединен минус источника питания, а не плюс, как это обычно делается в транзисторных схемах. Такое включение источника питания вызвано стремлением соединить непосредственно с корпусом подвижные пластины и ось конденсатора переменной емкости C_6. Если бы к корпусу подключался плюс источника, то подвижные пластины конденсатора C_6 пришлось бы соединить с корпусом через блокировочный конденсатор. Опыт показал, что такой вариант нежелателен, так как даже блокировка емкостью порядка 0,01 *мкф* не устраняет некоторого остаточного напряжения высокой частоты на оси конденсатора C_6 относительно корпуса генератора. При этом поднесение руки оператора к ручке конденсатора переменной емкости заметно увеличивает наводки высокочастотного напряжения на объект измерения, а в некоторых случаях вызывает расстройку контура генератора. Поэтому предпочтение было отдано непосредственному соединению подвижных пластин конденсатора переменной емкости и минуса источника питания с корпусом генератора. Положительный же полюс источника в данной схеме изолирован от корпуса.

В описываемом УКВ генераторе сигналов не применяется плавная регулировка выходного напряжения с помощью переменного резистора, так как переменные резисторы обычной конструкции не позволяют получить плавную регулировку высокочастотного напряжения в широких пределах. Паразитные емкости между крайними выводами и ползунком переменного резистора довольно велики, и образуемые ими для частот УКВ диапазона емкостные сопротивления соизмеримы с сопротивлением резистора. Вследствие этого нормальная регулировка выходного напряжения генератора нарушается, и применение переменного резистора в данном случае нецелесообразно.

Аттенюатор R_8 — R_{10} содержит одно делительное звено, уменьшающее выходное напряжение в 10 раз. В принципе возможно было бы добавление еще одного или нескольких звеньев. Однако получаемые на выходе этих звеньев малые высокочастотные напряжения (100, 10 *мкв* и т. д.) оказались бы соизмеримыми с наводками напряжения с колебательного контура непосредственно на выходные гнезда аттенюатора. Уменьшить наводки ниже уровня 100 *мкв* в малогабаритной конструкции не представляется возможным, даже в случае экранировки контура. Поэтому наиболее рационально получать дальнейшее ослабление выходного сигнала с помощью выносного делителя напряжения, соединяющегося с гнездом $Г_2$

отрезком коаксиального кабеля. При расстоянии между генератором и выносным делителем порядка 1 *м* и надежном соединении их корпусов с оплеткой кабеля наводки на делитель незначительны и могут не приниматься во внимание.

Детали. В низкочастотном генераторе в качестве T_1 и T_2 могут использоваться германиевые сплавные транзисторы типов МП39, МП40, МП41 и МП42 с коэффициентом усиления $В = 15 \div 25$. Примененный в высокочастотном генераторе германиевый диффузионный транзистор типа П403А (T_3) с коэффициентом усиления $В = 50$ можно заменить транзисторами П403, П416, П416А, П416Б или П423. Стремиться к использованию транзистора T_3 с бо́льшим коэффициентом усиления не следует, так как работа генератора от этого не улучшится, а температурная нестабильность частоты может возрасти.

Важнейшими элементами схемы, от которых в первую очередь зависит качество работы генератора сигналов, являются конденсатор переменной емкости C_6 и сменные катушки индуктивности L_1.

Конденсатор переменной емкости с воздушным диэлектриком состоит из 9 неподвижных и 10 подвижных латунных пластин. Подвижные пластины имеют форму полукруга радиусом 11 *мм*. Самостоятельное изготовление такого конденсатора требует некоторого навыка и наличия подходящих конструктивных материалов. Для радиолюбителей проще использовать одну из секций конденсатора переменной емкости от транзисторных радиоприемников, например, «Спидола», «Альпинист» и др. Для получения требуемых пределов изменения емкости (5—70 *пф*) часть пластин конденсатора следует осторожно удалить. Конденсаторы переменной емкости с твердым диэлектриком непригодны для применения в генераторе, так как их емкость недостаточно стабильна, а электрические потери увеличиваются с повышением частоты.

Катушки генератора, данные которых приведены в табл. 6, наматываются на цилиндрических каркасах без сердечников и вместе с соответствующими конденсаторами C_7 и C_8 помещаются внутри восьмиштырьковых пластмассовых цоколей от негодных радиоламп. Штырьки цоколя образуют разъем *1—6*.

Таблица 6

Данные катушек УКВ генератора сигналов

Поддиапазон	Частота, *Мгц*	Диаметр, *мм*	Провод	Число витков	Индуктивность, *мкгн*	Примечание
I	5—8	12	ПЭЛШО 0,35	35	12	«Внавал»
II	8—13	12	ПЭВ 0,5	25	5	Однослойная
III	13—22	12	ПЭВ 0,8	15	1,9	Однослойная
IV	22—40	8	ПЭВ 1,0	11	0,7	Однослойная
V	40—75	8	ПЭВ 1,0	6	0,3	Бескаркасная, с шагом 2 *мм*

В качестве гнездовой части разъема для включения сменных катушек используется ламповая панелька типа ПЛК-8.

Резисторы генератора могут быть типов УЛМ, МЛТ-0,25 или МЛТ-0,5. Резисторы $R_8 — R_{10}$ должны иметь допуск $\pm 5\%$. Конденсатор C_1 может быть типа МБМ или БМ, электролитические конденсаторы C_2 и C_3 — типа ЭМИ или ЭМ остальные конденсаторы — керамические.

В генераторе применены коаксиальные гнезда $Г_1$ и $Г_2$ от антенного входа телевизора, которые с помощью соответствующего штекера соединяются с отрезком коаксиального кабеля марки РК-75-4 15 (РК-1) длиной 1 — 1,5 *м*. Могут использоваться коаксиальные

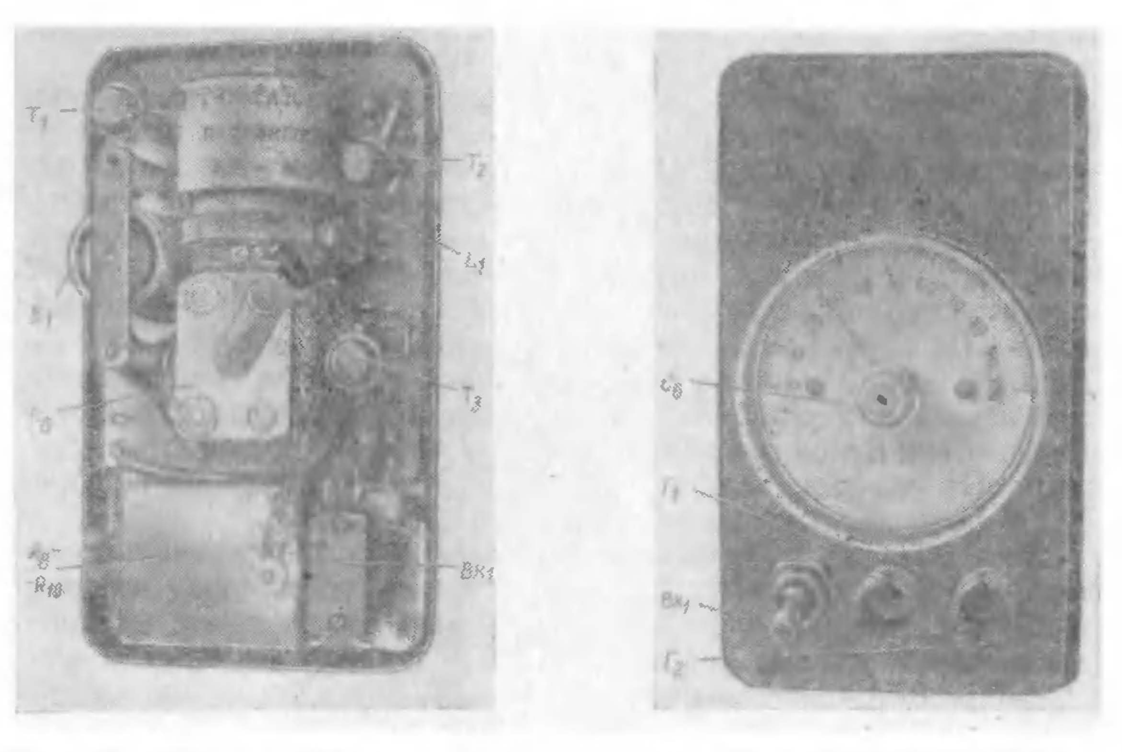


Рис. 58 Монтаж УКВ генератора сигналов

Рис. 59. Внешний вид УКВ генератора сигналов.

кабели других марок с волновым сопротивлением 75 *ом*. Ко внутреннему проводнику и металлической оплетке кабеля припаиваются зажимы «крокодил» для присоединения к объекту измерения.

Выключатель модуляции $Вк_1$ применен типа ТВ2-1. Пригоден любой выключатель, имеющий небольшие размеры.

Источником питания генератора является элемент $Б_1$ типа 332 (ФБС-0,25)

Конструкция и монтаж. Бо́льшая часть деталей генератора, за исключением $R_8 — R_{10}$, $Г_1$, $Г_2$, и $Вк_1$, смонтирована на гетинаксовой плате размерами $85 \times 60 \times 2$ *мм* (рис. 58). На плате установлен конденсатор переменной емкости C_6, непосредственно на котором укреплена панелька ПЛК 8, являющаяся гнездовой частью разъема *1 — 6* Элемент $Б_1$ крепится к плате с помощью пружинного держателя. Транзисторы, резисторы и конденсаторы распаяны на монтажных контактах, которые изготовлены из отрезков 1 *мм* луженого провода, пропущенного сквозь отверстия в плате.

Резисторы $R_8 — R_{10}$ вместе с гнездами $Г_1$ и $Г_2$ образуют отдельный конструктивный узел аттенюатора, экранированный от осталь-

ных элементов схемы латунной коробкой размерами 38 × 32 × 16 *мм* с тщательно пропаянными швами. Внутри коробки имеется латунная перегородка, экранирующая друг от друга резисторы R_8 и R_{10} и имеющая отверстие, через которое проходит резистор R_9. Эта перегородка припаивается к стенкам коробки, благодаря чему ее жесткость увеличивается. Вместо латуни для изготовления коробки и перегородки можно применить белую жесть.

Узел аттенюатора соединяется с гнездом *4* разъема *1 — 6* коротким отрезком коаксиального кабеля, оплетка которого на одном конце спаяна с латунной коробкой, а на другом — с выводом подвижных пластин конденсатора C_6. Таким образом, аттенюатор прибора оказывается надежно экранированным от генераторной части схемы, что необходимо для уменьшения наводок высокочастотного напряжения на выходные гнезда $Г_1$ и $Г_2$.

Монтажная плата с установленными на ней деталями, узел аттенюатора и выключатель модуляции $Вк_1$ заключены в латунный корпус размерами 125 × 72 × 42 *мм*. Между платой и крышкой корпуса помещена гетинаксовая прокладка толщиной 1 *мм*, изолирующая монтажные контакты платы от корпуса. Через отверстия в прокладке и крышке корпуса, одновременно являющейся верхней панелью генератора сигналов, проходят ось конденсатора переменной емкости C_6, втулка выключателя $Вк_1$ и коаксиальные гнезда $Г_1$ и $Г_2$ (рис. 59). Один из винтов, крепящих плату к крышке корпуса, расположен в непосредственной близости к выводу подвижных пластин конденсатора C_6 и служит для электрического соединения их с корпусом. На ось конденсатора C_6 надета ручка, снабженная шкалой со 100 равномерными делениями.

Налаживание и градуировка. После проверки правильности монтажа генератора вставляют в разъем сменную катушку поддиапазона I и измеряют электрические режимы транзисторов, примерные значения которых при включенной модуляции (замкнутом выключателе $Вк_1$) приведены на схеме рис. 57. Затем проверяют низкочастотный генератор, для чего параллельно резистору R_4 присоединяют два проводника, которые подключаются ко входу звукоснимателя приемника. При этом должен быть слышен громкий звук с частотой порядка 1 000 *гц*.

Для налаживания, установки границ поддиапазонов и предварительной градуировки высокочастотного генератора удобно использовать резонансный волномер, описанный в § 25. Чувствительность этого волномера достаточна для измерения частоты генератора на всех поддиапазонах. При измерениях частоты между контурами генератора и волномера устанавливается индуктивная связь такой величины, чтобы при настройке волномера в резонанс его индикатор регистрировал четкий максимум. Появление двойного максимума является признаком чрезмерно сильной связи, которую следует ослабить отдалением катушки волномера от катушки генератора.

Установив максимальную емкость конденсатора C_6, вставляют в разъем генератора сменную катушку поддиапазона I и измеряют волномером частоту колебаний генератора, которая должна быть близка к 4,9 *Мгц*. Если частота отличается от этого значения, то производят ее подгонку, изменяя индуктивность катушки путем перемещения ее крайних витков. В некоторых случаях, например при установке в генераторе конденсатора C_6, емкость которого значительно отличается от указанной на рис. 57, может потребоваться изменение числа витков катушки. Затем устанавливают минимальную емкость конденсатора C_6 и измеряют волномером частоту колебаний генератора, которая должна равняться 8,2 *Мгц* или более.

Вставив в разъем катушку поддиапазона II, устанавливают минимальную частоту этого поддиапазона равной 7,8 *Мгц*, чтобы обеспечить взаимоперекрытие поддиапазонов I и II примерно на 5% от граничной частоты 8 *Мгц*. Затем измеряют максимальную частоту поддиапазона II, которая должна равняться 13,3 *Мгц* или более.

Аналогично производится установка границ остальных поддиапазонов. Индуктивности сменных катушек регулируются перемещением их крайних витков, а в случае необходимости — изменением числа витков. При этом необходимо предусмотреть взаимоперекрытие смежных поддиапазонов примерно на 5% от граничной частоты.

В процессе проверки работоспособности высокочастотного генератора и установки границ его поддиапазонов может возникнуть необходимость в подборе глубины положительной обратной связи на том или ином поддиапазоне. Первоначальную емкость конденсатора связи C_7 рекомендуется установить равной 5 *пф* на всех поддиапазонах. В дальнейшем о необходимости изменения емкости C_7 можно судить по показаниям индикатора волномера. Между волномером и генератором устанавливают такую связь, при которой отклонение индикатора настроенного в резонанс волномера максимально и имеет место одиночный (а не двойной) максимум. При такой связи оптимальной амплитуде колебаний в контуре генератора соответствует отклонение стрелки индикатора волномера примерно на $^1/_5$ длины его шкалы. В случае, если на каком-либо поддиапазоне генератора будет обнаружено чрезмерно большое отклонение стрелки индикатора, обратную связь нужно ослабить, уменьшив емкость конденсатора C_7 данного поддиапазона. Если же отклонение стрелки индикатора окажется меньшим указанного выше, то на данном поддиапазоне следует увеличить емкость конденсатора C_7. Для подбора требуемой емкости, величина которой довольно критична, можно соединять конденсаторы последовательно или параллельно, однако они обязательно должны быть керамическими, типа КДК, КДМ, КДУ, КТК или КТМ, с отрицательным температурным коэффициентом емкости (красного цвета). Применение суррогатных конденсаторов, например, в виде скрученных между собой изолированных проводников недопустимо из-за значительной собственной индуктивности и больших электрических потерь на высоких частотах.

Следующим этапом налаживания генератора сигналов является установка высокочастотных напряжений на его выходных гнездах. Непосредственное измерение и подгонка напряжений на гнездах $Г_1$ (10 *мв*) и $Г_2$ (1 *мв*) в диапазоне частот до 75 *Мгц* возможна с помощью лампового милливольтметра типа В3-12 (МВЛ-8). Напряжения с частотой до 30 *Мгц* могут быть измерены более распространенным ламповым милливольтметром типа В3-4 (МВЛ-4).

При отсутствии милливольтметра установка выходных напряжений может быть произведена путем сравнения их с напряжением образцового генератора сигналов, например, типа Г4-1А (ГСС-6А) на частотах до 25 *Мгц* и Г4-7А (ГСС-7А) или Г3-8 (ГМВ) на более высоких частотах. Сравнение напряжений производится с применением в качестве индикатора промышленного или любительского радиоприемника, к нагрузке детектора которого присоединяется вольтметр постоянного напряжения, имеющий предел измерения 0,5 или 1 *в*.

Вольтметр может быть заменен микроамперметром с соответственно подобранным добавочным резистором.

В подавляющем большинстве случаев радиоприемники снабжены системой автоматической регулировки усиления, которая уменьшает зависимость выходного напряжения приемника от величины входного сигнала. В данном случае действие системы автоматической регулировки усиления привело бы к маскировке изменений входного сигнала, и поэтому она должна быть выключена. Если же это затруднительно, то следует с помощью выносного делителя образцового генератора ослабить сигнал настолько, чтобы он не вызывал срабатывания автоматической регулировки усиления.

Процесс установки выходного напряжения налаживаемого генератора сигналов сводится к следующему. К антенному входу радиоприемника подается от образцового генератора через его выносной делитель немодулированное напряжение 1 *мв* с частотой 6,5 *Мгц* (средняя частота поддиапазона I налаживаемого генератора). Настроив приемник по максимальному отклонению вольтметра, присоединенного к выходу детектора, замечают его показания. После этого отключают образцовый генератор от делителя и присоединяют к последнему коаксиальный кабель, штекер которого включается в гнездо $Г_2$ налаживаемого генератора. Настроив генератор на частоту 6,5 *Мгц* по максимальному отклонению вольтметра, подбирают емкость конденсатора C_8 поддиапазона I, чтобы показание вольтметра стало таким же, каким оно было при поступлении сигнала напряжением 1 *мв* от образцового генератора При подборе конденсатора C_8 следует после каждой его замены подстраивать генератор на максимум отклонения вольтметра, так как при замене конденсатора происходит некоторая расстройка контура генератора.

Аналогично производится установка выходного напряжения на всех остальных поддиапазонах.

При невозможности установить выходные напряжения генератора сигналов с помощью измерительных приборов, следует по крайней мере получить приближенные значения этих напряжений. Для этого рекомендуется установить конденсаторы C_8 следующей емкости: на поддиапазоне I — 2 *пф*, на II — 2 *пф*, на III — 3 *пф*, на IV — 4 *пф* и на V — 3 *пф*. Приведенные значения емкостей подобраны описанным выше способом с помощью образцового генератора сигналов.

После установки выходных напряжений на всех поддиапазонах необходимо вновь проверить их граничные частоты и, если потребуется, подстроить соответствующие катушки, так как вследствие изменения первоначальных значений емкостей конденсаторов C_8 граничные частоты могли несколько сместиться, особенно на высокочастотных концах поддиапазонов.

Затем производят предварительную градуировку каждого поддиапазона по резонансному волномеру. Для этого измеряют волномером частоту генератора в 10—15 точках его шкалы и полученные данные наносят на графики, отдельно для каждого поддиапазона. Построенные графики не могут быть использованы в процессе эксплуатации генератора сигналов, поскольку частота генератора при измерении ее волномером несколько изменяется вследствие связи между их контурами. Кроме того, измерения частоты генератора волномером производятся при снятой крышке, а в нормальных условиях эксплуатации генератор должен работать с плотно закрытой крышкой, которая вносит в его контур определенную расстройку.

Поэтому полученная с помощью волномера предварительная градуировка должна быть уточнена по гетеродинному волномеру или образцовому генератору сигналов. При отсутствии этих приборов уточнение градуировки производится с помощью вещательного радиоприемника, имеющего КВ и УКВ диапазоны.

Для градуировки генератора на поддиапазоне I в его разъем вставляется сменная катушка этого поддиапазона, после чего металлический корпус генератора закрывается. Модулированное напряжение высокой частоты с выходного гнезда $Г_2$ генератора через коаксиальный кабель и включенный на его конце конденсатор емкостью 5—10 *пф* подается на антенный вход приемника. Переключив приемник на КВ диапазон, настраивают его на частоту 5 *Мгц*. Изменяя частоту колебаний генератора, добиваются приема модулированного сигнала и отмечают деление шкалы генератора, соответствующее частоте 5 *Мгц*. Таким же способом определяют деления шкалы генератора, соответствующие еще 5—10 частотам, отмеченным на шкале приемника. Полученные результаты отображаются в виде графика, построенного на миллиметровой бумаге.

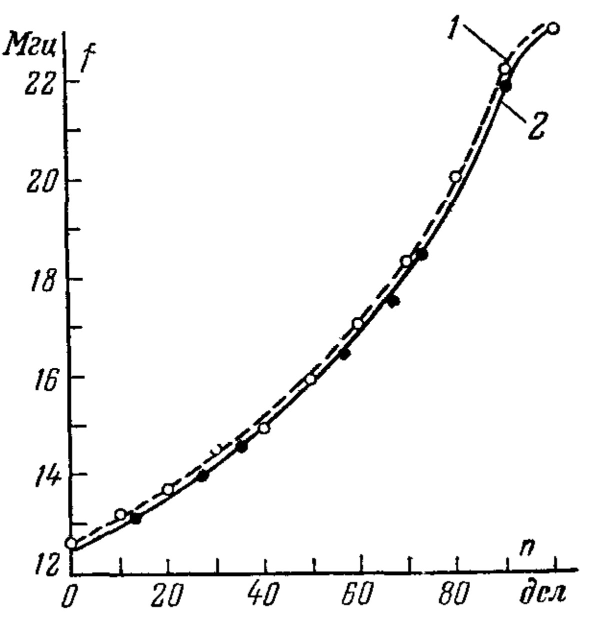


Рис. 60. Градуировочный график УКВ генератора сигналов.

1 — градуировка по волномеру; 2 — градуировка по приемнику.

Аналогично производится градуировка поддиапазона II, в результате чего получается график, сходный по форме с градуировочным графиком поддиапазона I.

Уточнить градуировку генератора сигналов на следующих поддиапазонах можно, используя графики, полученные ранее с помощью волномера, и корректируя их по гармоникам основной частоты генератора, принимаемым на УКВ диапазоне приемника (65,8—73 *Мгц*).

В качестве примера опишем методику градуировки генератора на поддиапазоне III. В результате предварительной градуировки генератора по волномеру получается график, образец которого приведен на рис. 60 (светлые кружки, соединенные штриховой линией). Как следует из этого графика, частоте 13,16 *Мгц*, 5-я гармоника которой равна 65,8 *Мгц*, приблизительно соответствует по предварительной градуировке 10-е деление шкалы генератора. Для уточнения градуировки на данной частоте необходимо настроить приемник на 65,8 *Мгц* и перестраивать генератор вблизи 10-го деления его шкалы до приема модулированного сигнала, т. е. 5-й гармоники частоты 13,16 *Мгц*. Очевидно, установленное при этом деление шкалы генератора (в данном случае 13-е) соответствует частоте 13,16 *Мгц*, что отмечено черным кружком на рис. 60.

Частоте 14 *Мгц*, 5-я гармоника которой равна 70 *Мгц*, по предварительной градуировке соответствует 25-е деление шкалы генера-

тора. Для уточнения градуировки настраивают приемник на 70 *Мгц* и изменяют частоту генератора вблизи 25-го деления его шкалы до приема модулированного сигнала. Установленное при этом деление шкалы генератора (27-е) соответствует частоте 14 *Мгц*, что отмечено черным кружком на рис. 60.

Частоте 14,6 *Мгц*, 5-я гармоника которой равна 73 *Мгц*, по предварительной градуировке соответствует 33-е деление шкалы генератора. Настроив приемник на 73 *Мгц*, изменяют частоту генератора вблизи 33-го деления его шкалы до приема модулированного сигнала. Частоте 14,6 *Мгц* соответствует 36-е деление шкалы генератора (отмечено черным кружком на рис. 60).

Градуировка на частотах 16,45; 17,5 и 18,25 *Мгц* уточняется посредством приема их четырех гармоник на частотах соответственно 65,8; 70 и 73 *Мгц*. Градуировка на частоте 21,93 *Мгц* уточняется при приеме ее 3-й гармоники (65,8 *Мгц*).

Нанеся полученные данные на рис. 60, проводят новую градуировочную кривую (сплошная линия). При этом стремятся к тому, чтобы она соприкасалась со вновь нанесенными черными кружками и была параллельна построенной ранее штриховой линии. В данном случае градуировочная кривая строится с использованием результатов измерений при помощи приемника (опорные точки кривой) и при помощи волномера (направление кривой).

Таким же способом уточняют градуировку генератора на поддиапазонах IV и V. Для этого прослушивают на УКВ диапазоне вещательного приемника 3-ю и 2-ю гармоники генератора на поддиапазоне IV и основную частоту — на поддиапазоне V.

Описанный метод градуировки довольно трудоемок, но позволяет с удовлетворительной точностью проградуировать генератор сигналов в домашних условиях, что делает его доступным для широкого круга радиолюбителей.

В заключение налаживания производится установка частоты модуляции генератора. Частота модуляции зависит не только от сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов низкочастотного генератора, но также и от параметров установленных в нем транзисторов T_1 и T_2. Поэтому для установки частоты модуляции 1 000 *гц* потребуется подбор емкости конденсатора C_1.

Некоторые способы измерения и установки частоты низкочастотного генератора описаны в § 21. Кроме того, возможна установка частоты модуляции с помощью телевизора. Для этого включают телевизор на прием телевизионной программы или испытательной таблицы и после 10-минутного прогрева регулируют частоту кадровой развертки до получения устойчивого изображения при минимальной контрастности. Затем переключают телевизор на I или II телевизионный канал, отключают приемную антенну от входных гнезд телевизора и соединяют их с коаксиальным кабелем, штекер которого включен в гнездо $Г_2$ генератора сигналов. В разъем генератора вставляют сменную катушку поддиапазона V и, не закрывая его корпуса, настраивают генератор до получения на экране кинескопа чередующихся светлых и темных горизонтальных полос. Подбирают емкость конденсатора C_1 так, чтобы на экране установилось 20 светлых (и столько же темных) полос. Поскольку частота кадровой развертки ранее была синхронизирована сигналом телецентра и установлена равной 50 *гц*, то при наличии на экране 20 полос частота модуляции генератора сигналов равна $20 \cdot 50 = 1\,000$ *гц*.

Подбором емкости конденсатора C_1 можно установить другие значения частоты модуляции. Например, если емкость C_1 подобрана так, что на экране наблюдаются 8 светлых полос, то частота модуляции равна $8 \cdot 50$ *гц* $= 400$ *гц* и т. д.

Установка определенного значения частоты модуляции необходима только в том случае, если генератор сигналов предполагается впоследствии использовать для налаживания и проверки телевизоров. Для налаживания и проверки радиоприемной аппаратуры частота модуляции не имеет существенного значения, и в генераторе, предназначенном лишь для этих целей, подбирать емкость конденсатора C_1 не требуется.

Эксплуатация. Для настройки с помощью описываемого генератора сигналов чувствительной радиоприемной аппаратуры его выходное напряжение должно быть уменьшено с помощью выносного делителя. Поскольку в большинстве случаев УКВ приемники, конвертеры и антенные усилители рассчитаны на согласование их входных цепей с 75-омными коаксиальными кабелями, желательно, чтобы выносной делитель также имел выходное сопротивление 75 *ом* на всех выходных гнездах. Простейшая схема делителя напряжения (см. рис. 40) не обладает этим свойством, поэтому в данном случае лучше изготовить специальный делитель с Г-образными звеньями. Схема такого делителя с выходным сопротивлением 75 *ом* на всех выходных гнездах приведена на рис. 61.

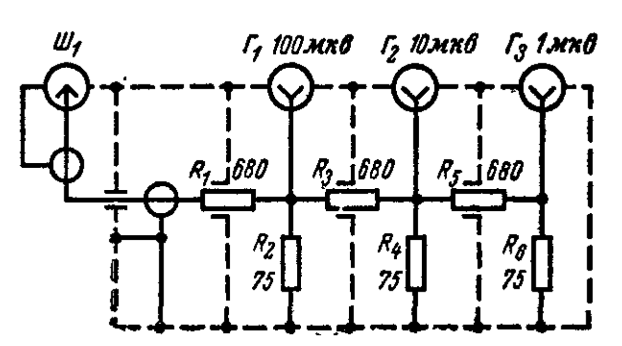


Рис. 61. Выносной делитель для УКВ генератора сигналов.

Для хорошей работы делителя он должен быть заключен в экран из меди, латуни или, в крайнем случае, белой жести, а все экранирующие перегородки между звеньями подлежат тщательной пропайке. Выходные коаксиальные гнезда $Г_1$ — $Г_3$ могут быть от антенного входа телевизора, причем желательно, чтобы внешние пружинящие разъемы этих гнезд были припаяны непосредственно к корпусу делителя.

Резисторы R_1 — R_6 могут быть типов ВС-0,25, МЛТ-0,25 или МЛТ-0,5 с допуском $\pm 5\%$. Лучше использовать резисторы с проводящим слоем без спиральной канавки, обладающие меньшей индуктивностью. Резисторы R_1, R_3 и R_5 пропускаются сквозь отверстия в экранирующих перегородках. Нижние (по схеме) выводы резисторов R_2, R_4 и R_6 припаиваются непосредственно к корпусу делителя. Левый (по схеме) вывод резистора R_1 соединяется с внутренним проводником коаксиального кабеля марки РК-75-4-15 (РК-1) длиной 1—1,5 *м*, экранирующая оплетка которого припаивается к корпусу делителя. На противоположном конце кабель снабжен коаксиальным штекером $Ш_1$ для включения в гнездо $Г_2$ генератора сигналов.

После изготовления делителя напряжения он закрывается плотно пригнанной крышкой из того же материала, что и корпус, и стыки между ними тщательно пропаиваются.

При настройке или проверке высокочувствительной приемной аппаратуры следует располагать генератор сигналов на максимальном удалении от делителя и настраиваемого объекта (т. е. на расстоянии

1 — 1,5 *м*). Выходные гнезда делителя должны соединяться с объектом кратчайшим путем, лучше всего с помощью короткого отрезка коаксиального кабеля.

Генератор сигналов позволяет настраивать колебательные контуры телевизоров, ориентировочно определять их чувствительность по каналу изображения, а также проверять и регулировать частоту и линейность кадровой развертки. Для определения чувствительности антенный вход телевизора подключают к гнезду $Г_1$ делителя напряжения. Если телевизор обладает чувствительностью порядка 100 *мкв*, то на его экране должны появиться четкие и контрастные горизонтальные полосы. По числу и расположению полос можно судить о частоте и линейности кадровой развертки телевизора.

Глава девятая

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРИБОРОВ

27. Слесарные работы и инструмент

При изготовлении радиоизмерительных приборов радиолюбителю приходится выполнять различные слесарные работы. От качества выполнения слесарных работ зависит внешний вид прибора, а в некоторых случаях — и его работоспособность.

Для слесарных работ необходимо иметь комплект инструментов. В зависимости от возможностей радиолюбителя количество инструментов может быть различным, но в первую очередь необходимо приобрести тот минимум, без которого вообще невозможно обойтись при изготовлении измерительных приборов. К таким инструментам относятся перечисляемые ниже.

Для разметки и проверки правильности обработки деталей нужны: стальная линейка с миллиметровыми делениями, стальной угольник, разметочный циркуль, чертилка и кернер. Особой необходимости в штангенциркуле нет, хотя он может оказаться полезным при измерении диаметров отверстий под втулки, оси и гнезда.

Для обработки металла и пластмасс требуются следующие инструменты.

Тиски настольные — для зажима обрабатываемых заготовок и деталей. Полезно снабдить тиски дополнительными алюминиевыми губками, защищающими мягкие материалы от повреждения их поверхности.

Наковальня — для правки, рубки и клепки. Может быть заменена чугунной или стальной плитой, куском рельса и т. п. При работе в домашних условиях следует подкладывать под наковальню или плиту кусок войлока либо плотной ткани, который несколько уменьшит сотрясение рабочего стола и частично ослабит звук при ударах.

Молоток стальной весом около 300 *г* — для рубки, гибки и клепки. Кроме него, желательно иметь также деревянный молоток (киянку) для правки деформированного листового металла. При отсутствии деревянного молотка можно править металлические листы, нанося удары стальным молотком по доске или многослойной фанере, положенной поверх листа.

Зубило и крейцмейсель — для рубки металла. Можно обойтись только зубилом, но в этом случае оно должно быть узким, так как часто приходится вырубать малые отверстия.

Ножницы слесарные — для резки листового металла. При работах с тонким металлом могут быть заменены хирургическими ножницами, которые изготовляются из высококачественной стали и благодаря этому долго не требуют переточки. Такие ножницы имеют узкие лезвия, что позволяет вырезать ими из листового металла детали сложной формы.

Ножовка с полотнами — для резки толстого металла, например для укорачивания осей переменных резисторов.

Напильники с крупной насечкой (драчевые) и с мелкой насечкой (личные) — для опиливания заготовок деталей. Кроме плоских напильников, совершенно необходимы круглый с максимальным диаметром 10—15 *мм* для опиливания отверстий под втулки переменных резисторов и переключателей и полукруглый с радиусом закругления 25—30 *мм* для опиливания отверстий под стрелочные приборы.

Дрель ручная с набором сверл диаметром от 1 до 5 *мм* — для сверления отверстий, в том числе под внутреннюю резьбу.

Метчики черновые и чистовые с воротком — для нарезания внутренней резьбы. В радиолюбительской практике наиболее употребительны винты с резьбой М3, что и определяет калибр метчиков. За неимением воротка можно нарезать резьбу в мягких металлах и пластмассах, зажав метчик в патрон ручной дрели.

28. Лужение и пайка

В современной радиоаппаратуре, в том числе и самодельной, абсолютное большинство электрических соединений выполняется с помощью пайки. Другие методы соединений, например сварка, нашли ограниченное применение, а в радиолюбительской практике вообще не используются.

Качество производимых при монтаже радиотехнического устройства паек имеет первостепенное значение для его работоспособности и надежности в процессе эксплуатации. Особенно высокие требования к пайке предъявляются при изготовлении радиоизмерительной аппаратуры. Недоброкачественная пайка в радиоприемнике в большинстве случаев может быть обнаружена по ненормальностям в его работе: прерыванию приема, искажениям звука и т. п. В измерительной же аппаратуре скрытые дефекты пайки, как правило, не проявляются непосредственно, но пагубно отражаются на работе радиоустройств, которые налаживаются или ремонтируются с помощью этой аппапатуры.

Поэтому радиолюбитель должен относиться к электрическому монтажу радиоизмерительных приборов со всей серьезностью и выполнять пайку весьма тщательно. Пренебрежение правилами пайки, применение недоброкачественных материалов повлекут за собой ухудшение работы изготавливаемых приборов и даже могут явиться причиной их полной неработоспособности. Измерительные приборы, при монтаже которых не будет обеспечена надежность паяных соединений, не позволяет реализовать заложенные в их схемах технические возможности и не принесут ожидаемой пользы

радиолюбителю. Более того, ненадежно работающие измерительные приборы дезориентируют радиолюбтеля и могут оказаться косвенной причиной неисправностей и отказов налаживаемой с их помощью аппаратуры.

Для электрического монтажа радиосхем необходимы следующие инструменты и материалы:

Электрический паяльник мощностью 50 *вт* — для залуживания и пайки проводников и деталей.

Нож или скальпель — для зачистки поверхности проводников перед их залуживанием.

Кусачки-бокорезы или ножницы — для укорачивания проводников и выводов радиодеталей.

Пинцет — для поддерживания проводников и выводов радиодеталей при пайке.

Мягкий припой и канифольный флюс — для залуживания и пайки.

Спирт или ацетон — для удаления остатков флюса после пайки.

Электропаяльник должен иметь достаточно длинный стержень, рабочую часть которого (жало) следует периодически запиливать и залуживать. Нож или скальпель должны быть хорошо заточены и не иметь зазубрин или других дефектов, могущих вызвать обрыв зачищаемых ими тонких проводников. Кусачками нельзя пользоваться для других целей, кроме резки проводников, так как изношенные кусачки сминают проводник и не дают чистого среза. Пинцет лучше применять с мелкой насечкой на рабочей поверхности (анатомический пинцет). Пинцет, имеющий рабочую часть с острыми зубцами (хирургический пинцет), портит изоляцию монтажных проводников.

Качество пайки в значительной мере зависит от состава применяемого припоя. Основным припоем, пригодным для припаивания выводов большинства радиодеталей, является припой марки ПОС-60, содержащий по весу 60% олова, 39% свинца и 1% сурьмы. Лучше применять имеющийся в продаже готовый припой, однако его можно приготовить самостоятельно. При этом необходимо быть уверенным в достаточной чистоте исходных материалов, особенно свинца, в котором часто содержатся вредные примеси. Пригоден свинец от оболочки телефонного кабеля, но ни в коем случае нельзя применять свинец, полученный переплавкой пластин негодных кислотных аккумуляторов. Качество олова легко проверить, сгибая оловянный пруток или лист, при этом чистое олово издает характерный хруст. Отвесив нужные количества свинца и олова (добавление сурьмы необязательно) и нарубив их мелкими кусками, расправляют в чистой железной посуде сперва свинец, а затем и олово. Перемешав сплав, снимают с его поверхности слой шлака и выливают готовый припой в форму.

Припой марки ПОС-60 позволяет припаивать практически все радиодетали, однако температура его плавления (около 190° С) может оказаться небезопасной для полупроводниковых приборов с укороченными выводами и чувствительных к перегреву конденсаторов: керамических типа КДС и электролитических типа ЭМИ. Поэтому припаивать эти детали лучше легкоплавким припоем марки ПОСК-50. Весовой состав этого припоя: олово — 50%, свинец — 32%, кадмий — 18%, температура плавления 145° С. Заменителем его может служить легкоплавкий припой марки ПОСВ-33 (олово — 33%, свинец — 34%, висмут — 33%) с температурой плавления 130° С.

В качестве флюса при пайке обычно употребляется канифоль. Качество пайки заметно зависит от сорта применяемой канифоли. Лучше всего пользоваться смычковой канифолью, которая в небольших кусках представляет собой светло-желтую, почти прозрачную массу. При пайке с применением такой канифоли образуется незначительное количество остатков, которые легко удаляются. В некоторых случаях, особенно при пайке в труднодоступных местах, лучше пользоваться жидким флюсом, для приготовления которого толченую канифоль заливают двойным количеством этилового (винного) спирта или ацетона. Жидкий флюс наносится на место пайки в небольшом количестве с помощью кисточки и практически не образует остатков. Заметим, однако, что при монтаже приборов, содержащих высокоомные цепи, например транзисторного вольтметра (см. § 18) и измерителя сопротивлений и емкостей (см. § 24), применять жидкий флюс не рекомендуется, так как в растворителе могут содержаться примеси, уменьшающие сопротивление изоляции.

Для получения высококачественной пайки поверхности проводников, лепестков, монтажных контактов и т. п. должны быть предварительно залужены. Выпускаемые промышленностью радиодетали имеют луженые или посеребренные выводы, однако при длительном хранении деталей поверхностный слой олова окисляется, а серебро сульфатируется и тускнеет вследствие соединения его с сернистым газом, некоторое количество которого всегда содержится в воздухе. Поэтому выводы долго хранившихся без употребления деталей перед пайкой должны быть заново зачищены до блеска и залужены. Исключение составляют миниатюрные электролитические конденсаторы типа ЭМИ, положительный вывод которых сделан из алюминиевого провода, залуженного специальным припоем. Поскольку в радиолюбительских условиях обновить полуду алюминиевого провода невозможно, то в случае ее окисления следует ограничиться осторожной зачисткой выводов мелкой наждачной шкуркой.

При изготовлении катушек, дросселей и трансформаторов приходится залуживать их выводы, которые обычно выполняются из того же провода, что и обмотки, сложенного в несколько раз для большей прочности. Некоторые трудности может представить зачистка обмоточных проводов марки ПЭВ, изоляция которых очень прочна. Снять изоляцию, не повредив провода, можно лезвием безопасной бритвы, которое удерживается перпендикулярно поверхности провода и перемещается вдоль него с легким нажимом.

Довольно трудоемкой работой является также залуживание литцендрата. Часто рекомендуемые в радиолюбительской литературе приемы, основанные на обжиге изоляции перед ее зачисткой, опасны, так как тонкие проводники после нагревания становятся хрупкими и при зачистке легко обрываются. Зачищая предварительно обожженный литцендрат, нетрудно просмотреть обрыв нескольких проводников, что приведет к резкому ухудшению параметров намотанной литцендратом катушки. Поэтому самым надежным, хотя и наиболее трудоемким способом следует признать зачистку и залуживание каждого проводника литцендрата в отдельности с последующим их скручиванием и пропайкой.

Тщательному залуживанию должны быть подвергнуты также монтажные лепестки и контакты, выводы гнезд и зажимов, лепестки переключателей, выключателей, переменных резисторов и конденсаторов. Выводы транзисторов, полупроводниковых диодов и конденсаторов типа КДС лучше залуживать легкоплавкими припоями.

марок ПОСК или ПОСВ. Если таких припоев не имеется, то необходимо обеспечить хороший теплоотвод от залуживаемых выводов. Обычно рекомендуют зажимать выводы пинцетом, располагаемым между залуживаемой частью проводника и собственно деталью. Практически же эта мера лишь незначительно уменьшает нагревание детали, так как тепловой контакт между выводом и пинцетом довольно плохой. Улучшить теплоотвод можно, насадив на концы пинцета отрезки сплющенной медной трубки, опиленные до смыкания их смежных поверхностей при сжатии пинцета. Целесообразно пропилить на этих поверхностях узкие канавки, в которые при залуживании или пайке должен вкладываться вывод детали. Благодаря высокой теплопроводности меди такой теплоотвод позволяет надежно защитить чувствительные к перегреву детали от повреждений.

При выполнении электрического монтажа приборов следует позаботиться о безусловной надежности паяных контактов в течение длительного срока эксплуатации, с учетом возможных сотрясений, падений и т. п. Поэтому спаиванию проводников и выводов деталей должны предшествовать их скручивание, пропускание в отверстия лепестков и другие меры, обеспечивающие механическую прочность соединения. Монтажные проводники и проволочные выводы деталей не нужно натягивать, чтобы не вызвать механических напряжений в спайках и в самих проводниках и деталях.

Высокое качество пайки может быть достигнуто только при оптимальной температуре паяльника. Получить хорошую пайку при перегреве паяльника, так же как и при недостаточной его температуре, нельзя. Имеющиеся в продаже электропаяльники рассчитаны на интенсивную пайку и поэтому при питании их номинальным напряжением и больших перерывах между пайками обычно сильно перегреваются. Для поддержания требуемой температуры рекомендуется включать паяльник, рассчитанный на 220 *в*, 50 *вт*, последовательно с электролампой на 220 *в*, 100 *вт*, которая играет роль балластного сопротивления. Параллельно лампе, на которой гасится напряжение около 40 *в*, присоединяется выключатель, позволяющий закорачивать ее. Во время подготовительных работ (зачистка и залуживание проводников и выводов деталей), а также при спаивании тонких монтажных проводников и обмоточного провода паяльник включен в электрическую сеть последовательно с лампой. Когда же производится спаивание нескольких проводников, особенно толстых, или припаивание проводников к массивным металлическим телам (гнездам, держателям элементов и т. п.), выключатель замыкается и паяльник включается под полное напряжение сети 220 *в*. Таким способом обеспечивается оптимальный тепловой режим паяльника, что способствует продлению срока его службы, а главное — улучшению качества пайки.

Необходимая температура паяльника зависит от состава применяемого для пайки припоя и может быть установлена, исходя из следующих признаков. При недостаточном нагреве паяльника припой не расплавляется полностью, а имеет вид кашицеобразной массы, канифоль медленно растекается по поверхности припоя. При перегреве паяльника припой быстро расплавляется и разбрызгивается, плохо смачивая жало паяльника, канифоль кипит, образуя темный нагар. Нормальная температура паяльника характеризуется легким расплавлением небольших кусочков припоя, капли которого удерживаются жалом паяльника, канифоль образует на поверхности

припоя тонкую бесцветную текучую пленку. После соприкосновения жала нормально нагретого паяльника со спаиваемыми проводниками бо́льшая часть припоя в течение нескольких секунд переходит с жала на место пайки и образует там каплю обтекаемой формы, которая после удаления паяльника быстро отвердевает.

Во время отвердевания пайки (примерно 5 *сек* для припоя марки ПОС-60 и 10 *сек* для припоев марок ПОСК и ПОСВ) нельзя перемещать спаиваемые проводники, передвигать монтируемый прибор, ударять по рабочему столу и т. д., чтобы избежать сотрясений, которые могли бы нарушить процесс кристаллизации припоя и явиться причиной ненадежности пайки. Следует учитывать особенность легкоплавких припоев марок ПОСК и ПОСВ, которые весьма быстро отвердевают на поверхности спайки, но внутри ее остаются жидкими еще довольно долго. Поэтому при пайке такими припоями лучше выждать несколько дольше, чтобы иметь уверенность в полном завершении кристаллизации припоя.

Для очистки места пайки от остатков флюса протирают его марлевым тампоном, смоченным спиртом, ацетоном или неэтилированным (бесцветным) бензином. Все эти растворители легко воспламеняются, а их пары летучи. Поэтому они должны храниться, так же как и жидкий канифольный флюс, в флаконах с притертыми пробками, вдали от огня и нагретого паяльника. Протирать пайки в высокоомных цепях нельзя, потому что содержащиеся в растворителях примеси могут ухудшить изоляцию этих цепей от других элементов схемы.

Замедлить окисление поверхности паек и несколько улучшить их вид можно, покрыв их цветным лаком, в качестве которого пригоден, в частности, маникюрный лак. Лак наносится кисточкой на предварительно протертую растворителем пайку.

Изложенное выше относится главным образом к радиомонтажной пайке. В процессе изготовления измерительных приборов радиолюбителю приходится применять пайку также и в качестве способа механического скрепления деталей конструкции. Примером могут служить выносные делители напряжения измерительных генераторов, металлические корпуса приборов и др. В этих случаях обычно приходится спаивать массивные детали, имеющие большую поверхность и изготовленные из металлов с большой теплопроводностью. Выполнить такие пайки с помощью обычного маломощного электропаяльника нельзя. Однако, применяя внешний подогрев деталей при их залуживании и спаивании можно обойтись маломощным паяльником. Для дополнительного подогрева плоских деталей лучше пользоваться электроплиткой, причем в целях безопасности необходимо проследить, чтобы деталь не соприкасалась с нагревательной спиралью. В случае пространственной формы детали подогрев ее на электроплитке становится неэффективным, и требуется нагрев пламенем, которое должно быть сильным и некоптящим (спиртовка, газовая плита).

Детали из белой жести, которая покрыта слоем олова, могут спаиваться без предварительного залуживания. Детали из меди и латуни удовлетворительно залуживаются с применением канифольного флюса. Для залуживания стальных деталей необходим химически активный флюс, например водный раствор хлористого цинка. При отсутствии готового флюса можно приготовить его самостоятельно, растворив цинк (пригодны цинковые стаканчики от гальванических элементов) в соляной кислоте. Мелкие кусочки цинка

кладутся в стеклянный сосуд с соляной кислотой, в которой они постепенно растворяются с выделением водорода (нельзя приближать к огню!). Цинк должен быть взят с избытком так, чтобы по окончании реакции и прекращении выделения водорода в сосуде осталось некоторое количество нерастворившегося цинка. Полученный раствор сливают в флакон с притертой пробкой, где он может храниться длительное время.

Следует иметь в виду, что хлористый цинк вызывает коррозию металлов. Поэтому его приготовление, а также все работы с его применением должны производиться в удалении от рабочего стола, где находится аппаратура, инструмент и радиодетали. По этой же причине детали, залуживавшиеся или спаивавшиеся с применением хлористого цинка, обязательно должны быть промыты в горячей воде, затем в растворе двууглекислого натрия (пищевая сода) и, наконец, снова в горячей воде.

Залуживание поверхности массивных деталей можно успешно производить и без помощи паяльника. Для этого зачищают подлежащие залуживанию места, нагревают деталь на электроплитке или некоптящем пламени до температуры, превышающей точку плавления припоя, наносят на нее флюс и, не прекращая подогрева, натирают залуживаемые участки прутком припоя. Тотчас же на поверхности детали появляются мелкие капельки припоя, которые растирают по ней сперва тампоном с флюсом, а затем сразу же по прекращении подогрева сухим тампоном. При этом излишек припоя удаляется с поверхности детали, а остаток его образует равномерное прочное покрытие. Подобным же способом удается производить и спаивание двух или нескольких деталей между собой, для чего, совместив их предварительно залуженные поверхности и скрепив их, если это возможно, проволочным бандажом, нагревают детали и добавляют в местах их стыковки припой, который после его расплавления разравнивают тампоном. Охлажденные детали освобождают от бандажа и зачищают места пайки от излишка припоя. После зачистки целесообразно покрыть места пайки бесцветным или цветным лаком.

29. Намоточные работы

Самодельные радиоизмерительные приборы содержат различные моточные детали: катушки, высокочастотные дроссели, трансформаторы, проволочные резисторы.

Большинство контурных катушек и катушек связи, применяемых в этих приборах, намотано на цилиндрических каркасах. При отсутствии подходящих каркасов они могут быть изготовлены путем наматывания на оправку бумажной ленты, смазанной клеем БФ-2. После просушки образуется прочная трубка, механические и электрические свойства которой примерно такие же, как и у готовых каркасов. Для катушек КВ и УКВ диапазонов лучше применять каркасы из полистирола или оргстекла. При невозможности приобретения готовых полистироловых каркасов можно использовать разрезанные на части негодные автоматические карандаши и ручки. Катушки УКВ диапазона, содержащие несколько витков толстого провода, можно делать бескаркасными, наматывая их на оправке подходящего диаметра.

Радиолюбители, изготовляющие моточные детали, особенно катушки колебательных контуров, в соответствии с приводимыми описаниями, должны учитывать, что их параметры, и в первую очередь индуктивность, зависят не только от числа витков обмотки, но также и от ее геометрических размеров и диаметра провода. Кроме того, на индуктивность катушки оказывают влияние геометрические размеры и магнитная проницаемость сердечника. Небольшие цилиндрические подстроечные сердечники сравнительно мало изменяют индуктивность катушки. Поэтому отклонения от рекомендуемых марок и размеров подстроечных сердечников обычно не сопровождаются существенным изменением индуктивности катушки. Если же катушка намотана на броневом (из ферритовых чашек) или тороидальном (кольцевом) сердечнике, то при его замене индуктивность катушки может измениться в несколько раз. Поэтому рекомендуется придерживаться указанных в описаниях конструктивных данных катушек.

Выполнение однослойных катушек со сплошной или шаговой намоткой обычно не вызывает затруднений. Более трудоемка намотка многослойных катушек. В любительских условиях многослойные катушки чаще всего наматываются «внавал». При этом необходимо принимать меры для сохранения заданных геометрических размеров катушки. Выдержать заданные размеры можно, наматывая провод между приклеенными к каркасу щечками, однако их изготовление и укрепление затруднительны, особенно при малых размерах катушки. Более простым способом является увязывание обмотки нитками. Для этого перед началом намотки вдоль каркаса укладываются и приклеиваются в месте расположения катушки 3—4 нитки, поверх которых наматывается катушка. Намотав несколько десятков витков, завязывают противоположные концы ниток узлами и, не обрезая их, продолжают намотку. После очередных нескольких десятков витков снова завязывают узлы и т. д. При таком способе крепления витков исключается возможность сползания их в процессе намотки и обеспечивается сохранение нужных размеров катушки.

Для большей прочности и влагостойкости катушек их поверхность может быть покрыта полистирольным клеем. Такой клей приготовляется путем растворения кусочков полистирола (обломков изделий из полистирола) в бензоле. Ввиду летучести и огнеопасности полистирольный клей должен храниться в флаконе с притертой пробкой. Поверхность катушки смазывается тонким слоем клея, пропитывать же ее насквозь не следует, так как сплошная пропитка увеличила бы собственную емкость катушки. Полистирол, обволакивая после испарения бензола поверхность катушки, надежно преграждает доступ влаги к проводу и упрочняет катушку.

В некоторых радиоизмерительных приборах применяются тороидальные трансформаторы, намотанные на кольцевых ферритовых сердечниках. Перед намоткой трансформатора следует скруглить острые выступы кольца (рис. 62, *а*) и придать ему форму, близкую к тороидальной (рис. 62, *б*). Ввиду исключительной твердости феррита обработать его можно только наждачным кругом или крупнозернистой наждачной шкуркой. Намотку выполняют с помощью челнока, изготовленного из провода диаметром 0,3—0,5 *мм* согласно рис. 62, *в*. Два отрезка залуженного провода изгибаются, складываются вместе, спаиваются и тщательно зачищаются надфилем. После зачистки поверхность челнока должна быть совершенно гладкой, а торцы проводов — закруглены. Намотав на челнок необхо-

димое количество обмоточного провода, перематывают его на кольцевой сердечник, для чего челнок многократно продевают сквозь отверстие кольца. Во избежание повреждения обмотки рекомендуется продевать челнок в направлении снизу вверх и избегать резких движений.

Следует категорически предостеречь от попыток намотки трансформаторов на предварительно разломленных и по окончании намотки вновь склеенных кольцах. В данном случае такой способ намотки совершенно неприемлем, так как после склеивания в магнитопроводе неизбежно образуется зазор из немагнитного материала, вследствие чего действующая магнитная проницаемость сердечника резко уменьшится и трансформатор будет работать плохо. Намотка трансформатора на неповрежденном кольце является единственно возможной, что вынуждает примириться с ее трудоемкостью.

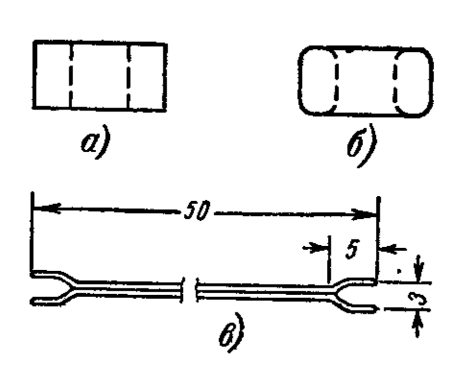


Рис. 62. Ферритовые кольца и челнок для их намотки.

а — кольцо до обработки; б — то же после обработки; в — челнок

Выводы обмоток трансформатора делаются из того же провода, что и сами обмотки, сложенного в несколько раз и для большей прочности прикрепленного к кольцу ниткой. Необходимо складывать провод таким образом, чтобы образующиеся при этом петли после спаивания между собой всех проводников вывода не создавали охватывающих кольцо короткозамкнутых витков.

При изготовлении выводов целесообразно надеть на них разноцветные полихлорвиниловые трубочки, что упрочнит выводы и предотвратит их ошибочное подключение к схеме прибора, в котором будет установлен трансформатор. Готовый трансформатор покрывается полистирольным клеем так, чтобы надетые на выводы трубочки оказались приклеенными к обмотке. Это обеспечит сохранность самой обмотки и исключит возможность обрыва выводов при монтаже трансформатора.

30. Макетирование и компоновка

При изготовлении радиоизмерительных приборов возможна замена примененных в них деталей и электронных приборов другими, параметры которых могут отличаться от приведенных в описаниях. В таких случаях, прежде чем приступать к окончательной сборке прибора, желательно предварительно испытать его в действии, для чего он может быть собран в виде временного макета.

Испытания макета позволяют выявить причины возможных неисправностей, произвести установку электрических режимов путем подбора и замены соответствующих деталей, а также ознакомиться с особенностями прибора и влиянием отдельных узлов и деталей на его работу и параметры. Эксперименты с макетом дают возможность лучше узнать свойства схемы и наметить пути ее возможных впоследствии усовершенствований. Кроме того, изучение работы прибора в макетном варианте позволяет производить различные изменения

и дополнения с гораздо большим удобством, чем в основном конструктивном оформлении.

Для сборки макетов достаточно иметь монтажную плату размерами 200 × 150 *мм* или больше из гетинакса, оргстекла или в крайнем случае толстого картона. На плате располагаются источник питания с выключателем, шины питания и лепестки для припаивания деталей, изготовленные из белой жести или луженого провода. Желательно также установить на плате три транзисторные панельки, выводы которых соединяются с монтажными лепестками. Применение панелек позволяет избежать перегрева транзисторов в процессе монтажа макета и упрощает их подбор и замену.

Большинство описанных в предыдущих главах измерительных приборов, за исключением предназначенных для работы в УКВ диапазоне, могут быть полностью налажены и отрегулированы на макете, что значительно облегчает их изготовление. Благодаря размещению шин питания и монтажных лепестков на плате достаточно больших размеров детали макета располагаются свободно, и при монтаже их выводы не укорачиваются Это позволяет производить различные эксперименты, не рискуя повредить используемые транзисторы и детали.

По окончании макетных испытаний и подбора деталей переходят к компоновке прибора, т. е. к выбору наилучшего расположения его деталей и узлов. При этом руководствуются различными соображениями: легкостью выполнения монтажа, удобством эксплуатации прибора, отсутствием вредных связей между элементами схемы, минимальным количеством и длиной соединительных проводников, рациональными размерами монтажной платы и корпуса прибора и др.

Для всех описанных выше приборов приведены фотографии, на которых указано расположение основных деталей, однако в случае их замены другими может возникнуть необходимость изменения компоновки. Оптимальное расположение деталей находится опытным путем. Для этого раскладывают предназначенные для установки в приборе детали на листе картона и изменяют их положение до тех пор, пока не будет найден наилучший вариант их размещения. В первую очередь следует разместить крупные детали: переключатели, переменные резисторы и конденсаторы, источник питания и др. Затем в картоне делают отверстия, через которые пропускают и укрепляют гайками втулки переключателей и переменных резисторов, и крепят к картону другие крупные детали. После этого можно приступить к выбору расположения мелких деталей: транзисторов, постоянных конденсаторов и резисторов и других деталей, а также соединительных проводников.

Поскольку во многих случаях имеет место пространственное расположение деталей, т. е. одни детали располагаются над другими, то для большей наглядности целесообразно скреплять мелкие детали между собой и с картоном с помощью пластилина, что позволяет легко изменять их взаимное расположение в пространстве. Таким же способом можно укрепить и проводники, соединяющие детали. При компоновке может понадобиться гибка выводов деталей, поэтому лучше использовать для этой цели негодные детали, например неисправные транзисторы и диоды, резисторы с поврежденным проводящим слоем, пробитые конденсаторы и т. п.

Для сравнения различных вариантов компоновки необходимо пространственное воображение, которое развивается практикой.

Поэтому не имеющим достаточного опыта радиолюбителям рекомендуется делать для каждого варианта эскизы, сопоставление которых поможет выбрать окончательный вариант.

Не следует спешить с окончательным решением и принимать его без достаточной уверенности в преимуществах избранного варианта перед другими. Лучше приложить больше усилий при компоновке, чем допустить из-за поспешности грубые промахи и создать неудачную конструкцию. Затраты труда и времени на разработку и анализ различных вариантов будут возмещены приобретением опыта конструирования приборов.

Предлагаемые в описаниях варианты расположения деталей приборов на претендуют на окончательную завершенность и, по-видимому, могут быть улучшены применительно к конкретным возможностям, деталям и материалам, которыми располагает радиолюбитель-конструктор. Поэтому в описаниях не приводятся чертежи монтажных плат с конструктивными размерами и монтажные схемы приборов, которые в зависимости от используемых деталей и материалов неизбежно подвергались бы изменениям. Кроме того, иногда проявляемое радиолюбителями стремление непременно соблюсти расположение деталей, указанное на монтажной схеме того или иного устройства, сковывает их творческую инициативу и тем самым нередко создает дополнительные трудности в работе. Исходя из этих соображений, можно полагать достаточным ознакомление с практически осуществленными конструктивными вариантами приборов по приведенным в описаниях фотографиям их монтажа и внешнего вида.

После окончательного выбора расположения деталей и соединительных проводников прибора следует вычертить его монтажную схему в масштабе 2 : 1, а для малогабаритных приборов с тесным расположением деталей — 5 : 1. Целесообразно пользоваться для этого цветными карандашами, особенно при наличии пересекающихся проводников и расположении одних деталей над другими.

31. Изготовление монтажных плат

Монтажные платы радиоизмерительных приборов могут быть изготовлены из различных листовых изоляционных материалов: гетинакса, текстолита, оргстекла или полистирола. Преимуществом гетинакса и особенно текстолита является их механическая прочность, что позволяет приклепывать к ним монтажные лепестки и некоторые детали. Оргстекло и полистирол менее прочны, но обладают гораздо лучшими электрическими свойствами, что важно при изготовлении приборов, содержащих высокоомные цепи.

Разметка монтажной платы производится в соответствии с монтажной схемой прибора. Линии разметки лучше наносить чертилкой и разметочным циркулем, не пользуясь для этой цели карандашами, так как графит ухудшает поверхностное сопротивление изоляции, что может неблагоприятно отразиться на работе приборов, особенно содержащих высокоомные и высоковольтные цепи. После разметки плата вырезается из заготовки. Тонкий листовой материал легко режется при помощи резца, изготовленного из сломанного ножовочного полотна. Прорезав с обеих сторон листа канавки примерно на $^1/_3$ его толщины, обламывают заготовку вдоль линии надреза, опиливают излом и при необходимости закругляют углы платы.

Вдоль контуров больших отверстий или вырезов в плате просверливают тонким сверлом ряд отверстий с припуском на последующую обработку. Разрушив перемычки между просверленными отверстиями, удаляют излишек материала, после чего опиливают плату по контуру разметки. Можно также вырезать отверстия в плате лобзиком.

В большинстве описанных приборов монтажные платы несут на себе органы управления: переключатели, переменные резисторы и другие, а также гнезда или зажимы, которые выводятся на верхнюю (переднюю) панель прибора. Поэтому соответствующие отверстия в плате и в корпусе прибора должны совпадать.

Для совмещения отверстий после изготовления платы ее вкладывают в корпус с внутренней стороны верхней панели и чертилкой переносят все необходимые отверстия на верхнюю панель. Просверливание и дальнейшая обработка этих отверстий обеспечивают их точное совпадение с отверстиями платы. Благодаря этому втулки переключателей, переменных резисторов, оси конденсаторов переменной емкости и других органов управления пройдут через отверстия в верхней панели прибора. Установленные на плате гнезда или зажимы также окажутся расположенными против соответствующих отверстий в верхней панели прибора.

32. Монтаж приборов

Часть крупных деталей прибора может устанавливаться на монтажной плате с помощью винтов и гаек. Целесообразно нарезать внутреннюю резьбу в отверстиях платы, если она имеет достаточную для этого толщину. Некоторые детали, например держатели гальванических элементов, монтажные лепестки и стойки, можно приклепывать к плате, что уменьшает расход винтов и гаек на крепление деталей.

Для установки деталей на гетинаксовых платах наиболее подходящими являются алюминиевые заклепки. Пригодны также латунные заклепки, однако латунь довольно тверда, поэтому их следует предварительно подвергнуть отпуску. Для этого латунные заклепки нагревают, не доводя их до красного каления, и (в отличие от стали) погружают в воду, после чего латунь становится мягкой. Приклепывать детали к гетинаксовым платам необходимо с осторожностью, поскольку гетинакс склонен к растрескиванию. В платах из толстого гетинакса можно рассверливать отверстия под заклепки на конус и применять заклепки с потайной головкой. При отсутствии готовых заклепок можно взамен них использовать кусочки медной или алюминиевой проволоки.

Кроме сплошных заклепок, для крепления деталей к плате, а также в качестве монтажных контактов могут применяться пустотелые пистоны. Для самостоятельного изготовления пистонов разрезают на части тонкостенную латунную или медную трубку. Чтобы последняя не сминалась при разрезании, в нее вставляют металлический стержень подходящего диаметра (хвостовик сверла, гвоздь, спицу и т. п.).

Крепление деталей на платах из оргстекла или полистирола с помощью заклепок невозможно из-за хрупкости этих материалов. Поэтому бо́льшую часть деталей приходится крепить винтами, для

чего при достаточной толщине платы нарезают в ней внутреннюю резьбу.

Сверление оргстекла требует бо́льшего внимания, чем других материалов, так как от трения оргстекло нагревается, размягчается и становится вязким, а при замедлении вращения сверла — твердеет, причем сверло заклинивается и может сломаться. Чтобы предохранить от поломки дефицитные тонкие сверла, нужно сверлить медленно, не допуская нагрева сверла. Отверстия в оргстекле можно сделать и без помощи сверла. Для этого вдавливают в оргстекло стальное шило (или заостренную спицу), одновременно нагреваемое электропаяльником. Проведя шило сквозь оргстекло, прекращают нагрев и, поворачивая шило вокруг его оси, медленно извлекают его обратно. Получаемые таким способом отверстия более пригодны для нарезания резьбы, чем просверленные, потому что в месте прокола оргстекла образуется утолщение, что способствует увеличению числа витков резьбы и, следовательно, ее прочности.

Механический монтаж приборов производится в такой последовательности, чтобы при креплении последующих деталей не были повреждены установленные ранее. Можно рекомендовать такую примерную последовательность сборки: приклепывание к плате монтажных лепестков и держателей гальванического элемента; укрепление зажимов и гнезд; привинчивание переключателей, переменных резисторов и конденсаторов переменной емкости; установка трансформаторов, дросселей и катушек. Дальнейшая установка деталей и прокладка соединительных проводников производится одновременно с выполнением электрического монтажа прибора, т. е. в процессе пайки.

Детали, предназначенные для впаивания в прибор, должны быть обязательно проверены. Лучше устанавливать в прибор те детали, которые испытывались на макете. Располагать мелкие детали — резисторы, конденсаторы — нужно таким образом, чтобы можно было видеть обозначения и надписи на них. Выводы этих деталей не должны быть слишком короткими во избежание их перегрева при пайке. Между отдельными деталями, а также голыми монтажными проводниками оставляется промежуток не менее 3 *мм*. Соединительные проводники должны быть по возможности короткими. Во избежание путаницы при выполнении монтажа желательно для различных цепей использовать провода с изоляцией разного цвета. При монтаже следует избегать даже кратковременных прикосновений паяльника к полихлорвиниловой изоляции проводников, так как она легко оплавляется.

33. Изготовление корпусов

От тщательности изготовления корпуса в значительной мере зависит внешний вид прибора. Кроме того, в некоторых приборах (генераторах сигналов и волномере) корпус, помимо декоративной и защитной функций, играет также роль электрического экрана.

Корпуса приборов могут быть изготовлены самостоятельно при наличии перечисленных в § 27—28 инструментов и подходящих конструктивных материалов. Наилучшим материалом для изготовления корпусов является листовая латунь толщиной примерно 1 *мм*, которая хорошо обрабатывается: режется, гнется, опиливается, а

также легко паяется. С несколько худшими результатами могут использоваться также листовые сталь и алюминий. Листовой дюралюминий мало пригоден для этих целей из-за образования трещин в местах изгибов.

В любительских условиях наиболее просто сделать корпус прибора в форме прямоугольной коробки с пропаянными швами и съемным нижним поддоном.

Изготовление такого корпуса начинают с разметки и вырезания заготовки в соответствии с выбранными размерами корпуса. Заготовка может быть вырезана ножницами, однако при этом возникает скручивание металла, которое приходится устранять правкой деревянным молотком на плите. После правки кромки заготовки опиливаются и выверяются по угольнику. Если в дальнейшем предполагается соединение швов корпуса пайкой, то заготовка залуживается, причем отгибы на коротких стенках должны быть залужены с обеих сторон. После нагревания и залуживания иногда может появиться небольшое коробление заготовки, которое устраняется легкой правкой на плите.

Далее производится изгибание заготовки вдоль линий изгиба. Гибка является наиболее ответственным этапом работы, от которого зависит ее успешное завершение. Получить точные изгибы, определяющие прямоугольность корпуса, довольно трудно. Удовлетворительного результата можно добиться, изгибая длинные боковые стенки корпуса с помощью двух зажатых в тисках уголков, между которыми помещается заготовка. Прежде чем приступить к гибке, необходимо тщательно проверить точность совпадения линии изгиба с кромками уголков, так как малейшая ошибка приведет к неисправимому перекосу корпуса. После изгибания длинных стенок корпуса делают отгибы на коротких стенках. При этом нужно проследить, чтобы линии отгибов были смещены к продольной оси заготовки относительно линий изгиба длинных стенок примерно на полторы толщины материала. Наконец, изгибаются короткие стенки корпуса, что лучше делать на оправке, которая представляет собой параллелепипед, изготовленный из дерева в соответствии с размерами корпуса. Можно изгибать и в тисках, если только ширина их щек не превышает длины коротких стенок корпуса.

Для облегчения гибки, особенно в случае применения более толстого материала заготовки, можно рекомендовать следующий прием. На линиях изгиба через каждые 15—20 *мм* размечаются точки, которые насверливаются примерно до половины толщины материала (не насквозь) сверлом диаметром 1,5—2 *мм*. Благодаря насверливанию вдоль этих линий сопротивление материала изгибу уменьшается, что обеспечивает бо́льшую легкость и точность гибки. Изгибание заготовки производится в таком направлении, чтобы насверленные точки оказались внутри корпуса и не ухудшали его внешнего вида.

После завершения гибки осаживают, если это нужно, стенки корпуса деревянным молотком на оправке до наилучшего сближения ранее залуженных стыкующихся участков. Затем пропаивают швы. На этом изготовление собственно корпуса заканчивается. Если корпус изготовляется из алюминия, пайка которого в любительских условиях затруднительна, то стыкующиеся участки корпуса скрепляют алюминиевыми заклепками с потайными головками. В качестве заклепок можно использовать кусочки алюминиевой проволоки.

Поддон корпуса вырезается из того же материала, что и заготовка корпуса. Большое количество отгибов на коротких сторонах

поддона нужно не для механической прочности соединения с корпусом, а для улучшения электрического контакта. Изменяя длину отгибов, можно точно подогнать поддон по месту его установки так, чтобы он входил в корпус с некоторым трением.

В коротких стенках корпуса сверлят отверстия диаметром 2 *мм*, которые должны располагаться против крайних отгибов поддона. Вставив поддон в корпус, отмечают на этих отгибах положение отверстий и после извлечения поддона просверливают в намеченных местах отгибов отверстия диаметром 1,5 *мм*. Полученные отверстия расширяют, пробивая их на деревянной подкладке хвостовиком сломанного сверла ⌀ 2,5 *мм* или тонким пробойником. При этом отверстия в отгибах приобретают воронкообразную форму, что позволяет нарезать в них доброкачественную резьбу М3, несмотря на малую толщину материала. После примерки поддона с нарезанными отверстиями по месту его установки расширяют отверстия в корпусе так, чтобы сквозь них свободно проходили винты М3, служащие для крепления поддона.

Дальнейшая обработка сводится к высверливанию в корпусе отверстий под гнезда, втулки переключателей и переменных резисторов и др. Способ разметки этих отверстий изложен в § 31. Большие отверстия под стрелочные измерительные приборы нужно разметить с некоторым припуском для последующей опиловки, просверлить по периметру окружности ряд отверстий диаметром 2—3 *мм*, располагая их как можно ближе друг к другу, и затем разрубить перемычки между смежными отверстиями крейцмейселем или узким зубилом. Попытки вырубить большое отверстие без предварительного насверливания неизбежно приведут к деформации корпуса. Полученное отверстие опиливается полукруглым напильником с крупной насечкой. После подгонки диаметра отверстия и примерки измерительного прибора размечаются отверстия под резьбу М3 для крепежных винтов. Сверление этих отверстий и их вытяжка для нарезания резьбы производится так же, как и при изготовлении поддона.

Декоративная отделка корпуса может быть выполнена в зависимости от конкретных возможностей радиолюбителя. Проще всего зашпаклевать дефектные места корпуса и окрасить его нитроэмалью или масляной краской. Можно также окрашивать корпус алюминиевой пудрой, разведенной бесцветным лаком или раствором целлулоида в ацетоне, однако покрытие получается настолько тонким, что даже незначительные дефекты корпуса (царапины, мелкие вмятины) будут заметны. Поэтому перед окраской алюминиевой пудрой потребуются тщательное исправление дефектов обработки и шпаклевка корпуса.

Как следует из приведенного описания, самостоятельное изготовление корпусов для измерительных приборов довольно трудоемко и требует владения приемами слесарных работ. Радиолюбителям, не имеющим опыта изготовления корпусов или не располагающим соответствующими конструктивными материалами, рекомендуется использовать подходящие по размерам металлические коробки.

В металлических корпусах могут быть выполнены почти все описанные приборы. Единственное исключение составляет генератор для настройки приемников (§ 22), который должен быть заключен в корпус из неэлектропроводящего материала. В качестве такого корпуса можно использовать любую подходящую по размерам пластмассовую коробку. Пригодны, в частности, футляры для карманных приемников из небьющегося полистирола. Такие же футляры могут быть использованы и для изготовления авометра (§ 17), транзисторного вольтметра (§ 18), испытателя транзисторов (§ 19) и прибора для проверки транзисторов (§ 20).

34. Изготовление шкал

Шкалы и другие отсчетные приспособления являются важнейшими частями измерительных приборов, от которых зависит правильность отсчета показаний и в конечном итоге точность результатов измерений. Поэтому изготовление шкал требует большой тщательности. Обычно в процессе градуировки прибора составляется временная шкала, деления и оцифровка которой переносятся затем с помощью чертежных инструментов на основную (рабочую) шкалу, устанавливаемую в приборе.

Простейшим способом изготовления рабочих шкал является вычерчивание их черной тушью на плотной бумаге. Многорядные шкалы могут выполняться и с применением туши различных цветов, однако следует учитывать, что излишняя пестрота шкалы затрудняет отсчет показаний. В случае применения корпуса темного цвета эффектны шкалы с белыми делениями и оцифровкой на черном фоне. Такие шкалы можно вычертить белой краской (гуашью или разведенной ацетоном нитроэмалью) на черной бумаге, например упаковочной бумаге от фотоматериалов.

Наилучшие результаты при изготовлении шкал получаются посредством фоторепродукции. Для этого на плотной (но не блестящей) бумаге вычерчивается шкала, увеличенная в 5—10 раз по сравнению с требуемыми размерами, которая затем фотографируется при равномерном освещении. Во избежание геометрических искажений оптическая ось объектива фотокамеры должна быть перпендикулярна к фотографируемой шкале и проходить через ее центр. С полученного негатива делают с помощью фотоувеличителя отпечаток нужных размеров. Благодаря уменьшению в процессе репродукции различные мелкие дефекты оригинала (разная толщина штрихов, неоднородность начертания цифр и букв, следы исправлений и т. п.) становятся практически незаметными на отпечатке.

Для репродукционной съемки наиболее пригодны зеркальные фотокамеры с переходными объективными кольцами, однако можно воспользоваться и камерами других типов. Отпечатки рекомендуется делать на контрастной глянцевой фотобумаге с последующим накатыванием.

Кроме шкал, на панелях радиоизмерительных приборов наносятся также различные знаки и надписи, которые могут выполняться теми же способами, что и шкалы. В некоторых случаях оказывается целесообразным одновременное выполнение всех шкал и надписей на общей основе — бумаге или (при репродукции) фотобумаге.

Для улучшения внешнего вида приборов и обеспечения длительной сохранности шкал они должны прикрываться наличниками из тонкого оргстекла, которое можно заменить целлулоидом или, в крайнем случае, отмытой от эмульсии широкоформатной фотопленкой.

Выше рассматривалось изготовление шкал, применяющихся в большинстве описанных приборов в качестве самостоятельных отсчетных приспособлений. В некоторых же приборах, а именно авометре (§ 17) и транзисторном вольтомметре (§ 18) необходимо нано-

сить дополнительные деления и оцифровку на шкалы установленных в них стрелочных приборов.

Из-за малых размеров этих шкал и необходимости нанесения мелких делений, знаков и цифр лучше выполнять эту работу в следующем порядке. Для градуирования временно снимают со стрелочного прибора фланец со стеклом. Градуировочные отметки делают на шкале тонкими карандашными штрихами без нажима. По окончании градуировки деления, знаки и цифры наносят на шкалу тушью при помощи тонкого (чертежного) пера. Если же шкала прибора окрашена в черный цвет, то деления, знаки и цифры процарапывают в краске швейной иглой, вставленной в деревянную палочку, или острым шилом. Эта операция требует некоторого навыка и осторожности, так как возможные ошибки сопряжены с риском испортить шкалу. Поэтому для приобретения опыта следует предварительно поупражняться в выполнении надписей на какой-либо окрашенной поверхности.

При наличии фотоаппаратуры новые шкалы для стрелочных приборов можно выполнить репродукционным способом. Предназначенный для репродуцирования оригинал должен быть вычерчен с соблюдением пропорций по отношению к ранее установленной в приборе шкале, а отпечаток должен иметь соответствующие ей размеры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенное в настоящей книге краткое изложение основ радиоизмерительной техники знакомит читателя с сущностью радиоизмерений, методами их выполнения и ролью в радиолюбительской практике. Теоретические сведения о радиоизмерениях облегчают понимание физических процессов, происходящих в радиоизмерительных приборах, принципа их действия, схемных и конструктивных особенностей.

Описанный комплект радиоизмерительных приборов дает возможность выполнять различные измерения, необходимость в которых возникает в радиолюбительской практике, причем приборы могут использоваться как в отдельности, так и в сочетании. Например, генератор сигналов совместно с транзисторным вольтомметром предназначены для регулировки и настройки различной радиоприемной аппаратуры, генератор сигналов может использоваться совместно с приставкой для измерения емкостей и индуктивностей и т. д. Таким образом, совокупность описанных приборов представляет собой измерительную лабораторию радиолюбителя, которая впоследствии может пополняться вновь создаваемыми приборами.

Изготовление и эксплуатация измерительных приборов, способствуя ознакомлению радиолюбителя с особенностями и применениями радиоизмерительной аппаратуры, помогут ему приобрести некоторый опыт конструирования, расширить свой технический кругозор и развить практические навыки. Систематическое использование построенных приборов позволит критически оценить их эксплуатационные возможности, выявить достоинства и недостатки и наметить пути дальнейшей деятельности радиолюбителя в области конструирования и применения более совершенных радиоизмерительных устройств.



ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов М. И., Измерительные приборы радиолюбителя, изд-во «Энергия», 1965.
2. Гладышев Г. И. и др., Краткий справочник по радиоизмерительной аппаратуре, изд-во «Наукова думка», Киев, 1965.
3. Грибанов Ю. И., Измерения в высокоомных цепях, изд. 2-е, изд-во «Энергия», 1967.
4. Дудич И. И., Измерительные устройства для радиолюбителей, изд-во «Энергия», 1967.
5. Кушнир Ф. В., Радиоизмерения, изд. 2-е, изд-во «Связь», 1968.
6. Лифшиц Н. С., Телешевский Б. Е., Радиотехнические измерения, изд-во «Высшая школа», 1968.
7. Майшев В. В., Испытатель полупроводниковых приборов, изд-во «Энергия», 1965.
8. Меерсон А. М., Радиоизмерительная техника, изд. 2-е, изд-во «Энергия», 1967.
9. Морозов В. П., Радиолюбительские приборы для проверки транзисторов, Изд-во ДОСААФ, 1965.
10. Осипов К. Д., Пасынков В. В., Справочник по радиоизмерительным приборам, ч. I—V, изд-во «Советское радио», 1959—1964.
11. Почепа А. М., Проверка исправности электрорадиодеталей в домашних условиях, изд-во «Маяк», Одесса, 1968.
12. Сонин Е. К., Любительские измерительные приборы на транзисторах, Госэнергоиздат, 1961.
13. Соловов В. Я., Осциллографические измерения, изд-во «Энергия», 1968.
14. Терешин Г. М., Радиоизмерения, изд. 2-е, изд-во «Энергия», 1968.
15. Терещук Р. М. и др., Справочник радиолюбителя, изд. 5-е, изд-во «Техніка», Киев, 1965.

Мне всегда нравились старые, сильно потрёпанные книжки. Потрёпанность книги говорит о её высокой востребованности, а старость о вечно ценном содержании. Всё сказанное в большей степени касается именно технической литературы. Только техническая литература содержит в себе ту великую и полезную информацию, которая не подвластна ни политическим веяниям, ни моде, ни настроениям! Только техническая литература требует от своего автора по истине великих усилий и знаний. Порой требуется опыт целой жизни, чтобы написать небольшую и внешне невзрачную книгу.

К сожалению ни что не вечно в этом мире, книги треплются, разваливаются на отдельные листы, которые затем рвутся в клочья и уходят в никуда. Плюс ко всему орды варваров, которым без разницы, что бросить в костёр или чем вытереть свой зад. Именно их мы можем благодарить за сожженные и растоптанные библиотеки.

Если у Вас есть старая книга или журнал, то не дайте им умереть, отсканируйте их и пришлите мне. Совместными усилиями мы можем создать по истине уникальное и ценное собрание старых технических книг и журналов.

Сайт старой технической литературы:

http://retrolib.narod.ru